

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
Кафедра инженерных систем зданий и сооружений

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.В. Сакаш
подпись инициалы, фамилия
« _____ » июня 2016 г.

Бакалаврская работа
«Разработка технологии очистки сточных вод гальванического производства
предприятий металлообработки»
наименование темы
08.03.01.06 «Водоснабжение и водоотведение», направление «Строительство»
код и наименование специальности (специализации), направления

Научный руководитель _____ профессор, канд.хим.наук Т.И.Халтурина
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ А.В. Богатырева
подпись, дата инициалы, фамилия

Консультанты:

Научная и технологическая часть,
автоматизация, БЖД _____ Т.И. Халтурина
наименование раздела подпись, дата инициалы, фамилия

Технико-экономический расчет _____ Т.П. Категорская
наименование раздела подпись, дата инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____ Т.И. Халтурина
подпись, дата инициалы, фамилия

Красноярск 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
Глава 1. Анализ источников и патентной документации по очистке сточных вод от ионов хрома.....	8
1.1 Методы очистки сточной воды, содержащей ионы хрома и ионы цветных металлов.....	8
1.1.1 Реагентные (химические) методы очистки сточных вод.....	9
1.1.2 Электрохимические методы очистки сточных вод.....	13
1.1.2.1 Электрокоагуляционный метод очистки сточных вод.....	13
1.1.2.2 Метод электрофлотации для очистки сточных вод.....	18
1.1.2.3 Гальванокоагуляционный метод очистки сточных вод.....	21
1.1.3 Сорбционные методы очистки сточных вод.....	25
1.1.3.1 Адсорбционный метод очистки сточных вод.....	26
1.1.3.2 Очистка сточных вод методом ионного обмена.....	28
1.1.3.3 Комбинированный сорбционный метод очистки сточных вод.....	30
1.1.4 Мембранные методы очистки сточных вод.....	31
1.1.4.1 Применение метода обратного осмоса для очистки сточных вод....	32
1.1.4.2 Применение метода электродиализа для очистки сточных вод.....	34
1.1.5 Биохимический метод очистки сточных вод.....	36
1.1.6 Выводы.....	37
Глава 2. Разработка технологии очистки сточных вод гальванического производства предприятий металлообработки.....	40
2.1 Обезвреживание хромсодержащих сточных вод при использовании железной стружки.....	40
2.2 Расчет экспериментальных данных методом Бокса-Хантера.....	43
2.3 Исследование свойств осадка при обезвреживании хромсодержащих сточных вод фильтрованием через железную стружку.....	52
2.4 Обсуждение результатов.....	54
Глава 3. Технологический расчет сооружений очистки хромсодержащих сточных вод.....	55
3.1 Технологическая схема №1. Электрокоагуляционный метод обезвреживания хромсодержащих стоков.....	55
3.1.1 Расчет резервуара-усреднителя с перемешивающим устройством.....	55
3.1.2 Расчет фильтра-грязевика.....	55
3.1.3 Расчет электрокоагулятора со стальными электродами.....	56
3.1.4 Расчет расхода кислоты и щелочи и объема расходных баков.....	56
3.1.5 Расчет вихревой камеры реакции.....	58
3.1.6 Расчет вертикального отстойника со встроенной водоворотной камерой хлопьеобразования.....	58
3.1.7 Расчет тонкослойного отстойника.....	58
3.1.8 Расчет дренажной системы отстойника.....	59
3.1.9 Расчет блока фильтров.....	59
3.1.10 Расчет дренажной системы для отвода промывной воды.....	60

3.1.11 Расчет шламоуплотнителя.....	60
3.1.12 Расчет центрифуги.....	60
3.1.13 Расчет резервуара чистой воды.....	61
3.2 Технологическая схема №2. Обезвреживание хромстоков путем фильтрования через железную стружку.....	62
3.3 Технологическая схема №3. Реагентный метод обезвреживания хромсодержащих стоков.....	62
3.3.1 Реагентное хозяйство.....	62
3.3.2 Бак для растворения коагулянта с подводом сжатого воздуха.....	62
3.3.3 Воздуходувки и воздухопроводы.....	63
3.3.4 Суженый участок для ввода реагентов.....	63
3.3.5 Приготовление известкового молока.....	63
3.3.6 Склады реагентов.....	64
3.3.7 Дозирование растворов реагентов.....	64
3.3.8 Вертикальный (вихревой) смеситель.....	65
3.3.9 Сбор воды периферийным лотком.....	65
Заключение.....	66
Список использованных источников.....	67
Приложение А Расчет резервуара-усреднителя с перемешивающим устройством.....	73
Приложение Б Расчет фильтра-грязевика.....	77
Приложение В Расчет электрокоагулятора со стальными электродами.....	78
Приложение Г Расчет вихревой камеры реакции.....	82
Приложение Д Расчет вертикального отстойника со встроенной водоворотной камерой хлопьеобразования.....	86
Приложение Е Расчет тонкослойного отстойника.....	92
Приложение Ж Расчет дренажной системы отстойника.....	94
Приложение И Расчет блока фильтров.....	97
Приложение К Расчет дренажной системы для отвода промывной воды.....	99
Приложение Л Расчет шламоуплотнителя.....	101
Приложение М Расчет центрифуги.....	102
Приложение Н Технологический расчет сооружений очистки хромсодержащих сточных вод.....	104
Приложение П Расчет реагентного хозяйства.....	107
Приложение Р Бак для растворения коагулянта с подводом сжатого воздуха.....	108
Приложение С Воздуходувки и воздухопроводы.....	110
Приложение Т Суженый участок для ввода реагентов.....	112
Приложение У Склады реагентов.....	116
Приложение Ф Вертикальный (вихревой) смеситель.....	117
Приложение Х Сбор воды периферийным лотком.....	120
Приложение Ц Технико-экономический расчет.....	123
Приложение Ш Автоматизация оборудования очистной станции.....	141
Приложение Щ Безопасность жизнедеятельности при работе с	152

оборудованием очистной станции.....

РЕФЕРАТ

Тема выпускной квалификационной работы «Разработка технологии очистки сточных вод гальванического производства предприятий металлообработки».

Объект исследования – сточные воды гальванического производства, содержащие ионы Cr^{6+} .

Цели научного исследования:

- изучение процесса обезвреживания хромсодержащих сточных вод фильтрованием через Fe - стружку;
- определения влияния на эффект очистки скорости фильтрации, pH сточной воды и исходной концентрации Cr^{+6} .

Задачи работы:

- проведение планового эксперимента по методу Бокса - Хантера для изучения процесса обезвреживания хромсодержащих сточных вод фильтрованием через Fe - стружку;
- обработка экспериментальных данных для получения математической модели процесса очистки;
- анализ результатов эксперимента.

Актуальность работы:

- во-первых, соединения Cr^{+6} , образующиеся в технологических процессах гальванического производства, являются высокотоксичными, негативно влияющими на жизнедеятельность живых организмов;
- во-вторых, необходимо совершенствовать технологии очистки сточных вод, в связи с дефицитом водных ресурсов и повышении требований к степени очистки, что ставит предприятия перед необходимостью решения задач по созданию бессточных и безотходных производств, в связи с этим разработка принципиально новых технологических процессов и схем является актуальной задачей.

Научная новизна:

- обоснована возможность обезвреживания хромсодержащих сточных вод фильтрованием через Fe – стружку;
- определено влияние на эффект очистки скорости фильтрации, pH сточной воды и исходной концентрации Cr^{+6} .

В результате проведения научных исследований по разработке технологии очистки сточных вод гальванического производства предприятий металлообработки была получена математическая модель, описывающая процесс очистки хромсодержащих сточных вод, определены оптимальные режимы по величине pH (1,32-2) и скорости фильтрации (не более 3 м/ч). Был выполнен технологический расчет по следующим методам очистки хромсодержащих сточных вод:

- с применением электрокоагуляции;
- с применением фильтрации через железную стружку;
- с применением реагентной очистки.

Проведено технико-экономическое сравнение методов для выявления экономически выгодного варианта очистки сточных вод гальванического производства.

Представлены методы автоматизации производственного процесса, такие как: автоматизация работы двигателей насосов, частотное регулирование, корректировка pH, автоматизация удаления осадка из отстойников и фильтрации воды на фильтрах с плавающей и сорбционной загрузкой. Описаны правила безопасности работы с реагентным хозяйством, дозировкой кислот и щелочей, а также правила обеспечения электробезопасности рабочих.

ВВЕДЕНИЕ

Тема выпускной квалификационной работы - "Разработка технологии очистки сточных вод гальванического производства предприятий металлообработки".

Целью ВКР являлось исследование процесса обезвреживания хромосодержащих сточных вод для выбора оптимальных режимов обработки по величине pH, скорости фильтрации и исходной концентрации ионов шестивалентного хрома.

Объектом исследования служили сточные воды гальванического производства, содержащие ионы Cr^{6+} .

Данная тема является актуальной так как, во-первых, соединения Cr^{+6} , образующиеся в технологических процессах гальванического производства, являются высокотоксичными, негативно влияющими на жизнедеятельность живых организмов; во-вторых, необходимо совершенствовать технологии очистки сточных вод, в связи с дефицитом водных ресурсов и повышении требований к степени очистки, что ставит предприятия перед необходимостью решения задач по созданию бессточных и безотходных производств.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- проведение планового эксперимента по методу Бокса - Хантера для изучения процесса обезвреживания хромосодержащих сточных вод фильтрованием через Fe - стружку;
- обработка экспериментальных данных для получения математической модели процесса очистки;
- анализ результатов эксперимента.

Методы исследования: рентгенофазовый, а также методы математической статистики с использованием пакетов прикладных программ полиномиальной регрессии.

Научная новизна данной работы состоит в том, что была обоснована возможность обезвреживания хромосодержащих сточных вод фильтрованием через Fe – стружку; определено влияние на эффект очистки скорости фильтрации, величины pH сточной воды и исходной концентрации Cr^{+6} .

Практическая значимость работы: результаты исследований могут быть использованы при проектировании и реконструкции локальных очистных сооружений для очистки сточных вод гальванического производства.

Глава 1. Анализ источников и патентной документации по очистке сточных вод от ионов хрома

1.1 Методы очистки сточной воды, содержащей ионы хрома и ионы цветных металлов

Гальваническое производство считается едва ли не самым опасным источником, негативно отражающимся на состоянии окружающей среды. Основная опасность грозит различным водоемам. При таком производстве образуется много сточной воды, которая и представляют максимальный уровень угрозы. В этой воде содержится множество примесей с тяжелыми металлами, присутствуют щелочной состав и прочие высокотоксичные соединения.

В машиностроении широко применяется технология нанесения гальванических покрытий. При химических покрытиях и подготовительных операциях потери химикатов с промывными водами иногда в десятки раз превышает их расход на обработку поверхности. Расход воды на промывку после подготовительных операций в 3-7 раз превышает расход воды на промывку после гальванических покрытий.

Сточные воды гальванических производств подразделяются на следующие основные категории:

- 1) чистые, от охлаждения технологического оборудования (50 – 80 % общего количества);
- 2) загрязненные механическими примесями и маслами (10 – 15 %);
- 3) загрязненные кислотами, щелочами, солями, соединениями хрома, цинка, меди, никеля, циана и другими химическими веществами (50 – 80 %);
- 4) отработанные смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) или эмульсии (1 – 2 %);
- 5) загрязненные пылью вентиляционных систем и горелой землей литейных цехов (10 – 20 %);
- 6) поверхностные (дождевые, талые, поливочно-моечные). [1]

Так как гальваническое производство является одним из крупнейших потребителей воды, а его сточные воды – одними из самых токсичных и вредных, очистка сточных вод является одной из самых актуальных проблем.

В Западной Европе оборот только промывных вод гальванических производств составляет 97-98% от общего числа стоков. В нашей стране уровень очистки сточных вод и, в частности, регенерации из них цветных металлов, составляет не более 10%.

Основные вещества, подлежащие обезвреживанию – шестивалентные соединения хрома, цианиды (CN^-), ионы тяжелых и цветных металлов: Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Sn^{2+} , Pb^{2+} . Основные характеристики загрязняющих веществ гальванического производства заданного состава приведены в таблице 1.1.1 [2]

Таблица 1.1.1 - Характеристика загрязняющих веществ

№	Вещество	ПДК (мг/л)	Класс опасности	Источники поступления	Воздействие на организм
1	Медь Cu^{2+}	0,5	3	Гальванический цех, меднение	Мутагенное и токсичное действие. Оказывает раздражающее действие на слизистые оболочки верхних дыхательных путей.
2	Цинк Zn^{2+}	2	3	Гальванический цех, цинкование	Вредно действует на сельскохозяйственные культуры. Малотоксичен для людей и теплокровных животных и во много раз токсичнее для рыб. Токсическое действие: Язва желудка, анемия, лихорадка, тошнота, рвота, дыхательная недостаточность.
3	Кадмий Cd^{2+}	0,001	2	Гальванический цех, кадмирование, коррозия труб с гальваническим покрытием	Болезнь «итай-итай», увеличение кардиоваскулярной заболеваемости (КВЗ), почечной, онкологической заболеваемости, нарушение ОМЦ, течение беременности и родов, мертворождаемость, повреждение костной ткани.
4	Никель Ni^{2+}	0,5	3	Гальванический цех, никелирование	Повышение возбудимости центральной и вегетативной нервной системы, отеки легких и мозга, тахикардия, анемии, рак легких.

Для очистки сточных вод гальванических производств в основном применяют химические способы (реагентный и ионообменный), а также электролитические, термические, адсорбционные способы, обратный осмос.[3]

1.1.1 Реагентные (химические) методы очистки сточных вод

Наибольшее распространение в практике очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов получил реагентный метод, заключающийся в переводе растворимых веществ в нерастворимые при добавлении различных реагентов с последующим отделением их в виде осадков. Этот метод включает в себя процессы нейтрализации, окислительно-восстановительные реакции, осаждение и обезвреживание образующегося осадка, и позволяет довольно полно удалять из стоков тяжелые металлы.

При этом методе ионы тяжелых металлов переводятся, как правило, в гидроксидные соединения путем повышения pH усредненных стоков до pH их гидратообразования с последующим осаждением и фильтрацией. В качестве

реагентов используют гидроксиды кальция и натрия, сульфиды натрия, феррохромовый шлак, сульфат железа(II), пирит.

При обработке сточных вод, содержащих соли цинка, гидроксидом натрия дозирование реагента производится при четком контроле за pH обрабатываемого стока с тем, чтобы не создать условий для растворения амфотерных гидроксидов. Выделение катионов Zn^{2+} щелочами основано на переводе их в труднорастворимый гидроксид цинка:



Произведение растворимости гидроксида цинка составляет $7,1 \cdot 10^{-18}$, началу выпадения в осадок соответствует pH = 6,4. При pH = 10,5 начинается растворение амфотерных гидроксидов цинка, а при достижении pH = 12 происходит образование комплекса:



Из этого следует, что очистку следует проводить при pH от 8 до 9. При таких условиях происходит максимальное осаждение гидроксида цинка.

При действии соды на сточные воды, содержащие соли цинка, образуются гидрокарбонаты:



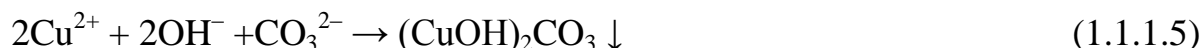
При значениях pH = 7 - 9,5 образуется основной карбонат состава $2ZnCO_3 \times 3Zn(OH)_2$, начиная с pH = 10 доля гидроксида возрастает.

Хотя осаждение основных карбонатов начинается при более низких значениях pH, чем соответствующих гидроксидов, расход соды на осаждение выше, чем при использовании едкого натра или извести. Это обусловлено тем, что при осаждении тяжелых металлов содой процесс идет через стадию образования гидрокарбонатов и для окончания реакции требуется избыток реагента.

Выделение диоксида углерода в результате осаждения содой приводит к тому, что пузырьки газа обволакивают частицы осадка и поднимают их, способствуя всплыванию части осадка в отстойниках. Газ необходимо удалять продувкой воздухом по достижении pH = 4,5.

К недостаткам едкого натра и соды как реагентов следует отнести также их дефицитность и относительно высокую стоимость.

Очистка сточных вод от меди связана с осаждением ее в виде гидроксида или гидроксидкарбоната:



Осаждение гидроксида меди происходит при $pH = 5,3$. Растворимость гидроксидкарбоната меди ничтожно мала, поэтому более выгодно осаждают медь в виде основного карбоната. Для этого в растворе нейтрализующего агента необходимо иметь одновременно как гидроксидные, так и карбонатные ионы. Следовательно, применение для осаждения меди только щелочей или извести высшего сорта, дающих гидроксид-ионы, нецелесообразно. Лучшим реагентом для очистки сточных вод от катионов меди является известь III сорта, содержащая «недожог» ($CaCO_3$). [4]

Очистка сточных вод от никеля основана на выделении его из раствора в виде труднорастворимых соединений:



Осаждение гидроксида никеля начинается при $pH=6,7$. Произведение растворимости $Ni(OH)_2$ равно $2,0 \cdot 10^{-18}$. Так же как и для меди, концентрация катионов Ni чрезвычайно зависит от pH : при $pH = 8,0$ она составляет 23,5 мг/л, а при $pH = 9,5$ только 0,5 мг/л. Произведение растворимости карбоната никеля выше, чем гидроксида и равно $6,6 \cdot 10^{-9}$. Растворимость гидроксидкарбоната никеля практически равна нулю, поэтому для наиболее полного удаления никеля следует (так же как и для меди) применять известь III сорта, содержащую $CaCO_3$. [4]

Более глубокая очистка от ионов тяжелых металлов достигается при обработке сточных вод сульфидом натрия. Это связано с тем, что растворимость сульфидов тяжелых металлов значительно меньше растворимости любых других труднорастворимых соединений - гидроксидов.

Процесс извлечения металлов сульфидом натрия выглядит так:



Технологическая схема, обеспечивающая удаление ионов тяжелых металлов, чаще всего включает следующие стадии (рисунок 1.1.1.1):

- необработанная вода поступает в смеситель, где в нее вводятся вещества, ускоряющие процесс отстаивания;
- после перемешивания с реагентом вода поступает в камеру реакции, где идет процесс химической реакции, в результате чего образуются хлопья;
- затем вода поступает в отстойник, в котором и происходит осаждение взвеси и хлопьев;

- отстоянная вода направляется на фильтр, где она проходит окончательную стадию очистки, обеззараживается и поступает в резервуар чистой воды.



Рисунок 1.1.1.1 - Схема реагентной очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов

Для обработки воды от ионов тяжелых металлов (Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{6+} и т.п.) было предложено смешивать гальваностоки, содержащие ионы тяжелых металлов с реагентом осадителем, содержащим жирные кислоты. В качестве реагента-осадителя используют сточные воды рыбоперерабатывающих и мясоперерабатывающих пищевых производств с содержанием жира 200-700 мг/л, предварительно доведенные до pH 9,0 кальцинированной содой. Смесь отстаивают для коагуляции до полного осаждения при комнатной температуре и отделяют осадок. Изобретение позволяет упростить и повысить эффективность способа очистки гальваностоков от ионов тяжелых металлов и одновременно утилизировать жиросодержащие промышленные стоки пищевых производств. [5]

Известен также способ применения гидроксидов щелочных металлов и извести для удаления ионов тяжелых металлов из сточных вод. Универсальность способа использования щелочей, его относительная простота, доступность реагентов представляют сильные стороны его. Однако недостаточная во многих случаях степень очистки стоков, большой объем и трудность обезвоживания осадков снижают положительный эффект применения щелочного способа очистки. Наиболее близким к предлагаемому является способ заключающийся в добавлении в стоки щелочных солей нафталинполитиолов. В результате ионы тяжелых металлов полностью удаляются из обработанной сточной воды. Однако в стоке остается некоторый избыток производного нафталина, измеряемый по крайней мере миллиграммами на литр. Между тем, ПДК нафталина составляет всего 0,01 мг/л. Кроме того, полнота удаления ионов тяжелых металлов из стоков имеет относительный характер, зависящий от метода определения их. Цель

изобретения повышение полноты очистки стоков от ионов тяжелых металлов, снижение вторичного загрязнения очищаемого стока осадителем. Для достижения поставленной цели предлагается в очищаемый сток вводить 1-метил-2-меркаптоимидазол.[6]

Достоинства реагентного метода:

- простота эксплуатации;
- универсальность;
- широкий интервал начальных концентраций ИТМ;
- отсутствие необходимости в разделении промывных вод и концентратов.

Недостатки реагентного метода:

- не обеспечивается ПДК для рыбохозяйственных водоемов;
- громоздкость оборудования;
- большой расход реагентов;
- дополнительное загрязнение сточных вод;
- недопустимость возврата в оборотный цикл очищенной воды из-за повышенного солесодержания;
- затрудненность извлечения из шлама тяжелых металлов для утилизации;
- потребность в значительных площадях для шламоотвалов.

1.1.2 Электрохимические методы очистки сточных вод

В настоящее время электрохимические методы выделения тяжелых цветных металлов из сточных вод гальванопроизводства находят все более широкое применение. К ним относятся процессы анодного окисления и катодного восстановления, электрокоагуляции, электрофлокуляции и электродиализа. Все эти процессы протекают на электродах при пропускании через раствор постоянного электрического тока.

1.1.2.1 Электрокоагуляционный метод очистки сточных вод

Исследования по электрокоагуляции успешно ведутся в Японии, США, Франции, Польше и в других странах. [7-10]

Впервые в работах авторов [11,12] было показано, что при электрокоагуляционной обработке сточных вод с использованием железных электродов можно осуществлять восстановление шестивалентного хрома и проводить соосаждения ионов тяжелых металлов на гидроксиде железа.

Очистка сточных вод методом электрокоагуляции основана на их электролизе с использованием стальных или алюминиевых анодов, подвергающихся электролитическому растворению. В результате осуществляется процесс коагуляции, аналогичный обработке сточной воды солями железа и алюминия. Однако, по сравнению с реагентным коагулированием при электрохимическом растворении металлов не происходит обогащения воды сульфатами и хлоридами, содержание которых в воде

лимитируется как при сбросе очищенных сточных вод в водоемы, так и при повторном использовании в системах промышленного водоснабжения.

Промышленные сточные воды, образующиеся на предприятиях цветной металлургии, являются электролитом, так как присутствующие в них минеральные соли, свободные кислоты или щелочи в определенной степени диссоциированы на ионы. При погружении в такую жидкость электродов, к которым подведено напряжение достаточной величины, начинается перенос электрического тока движущимися к электродам ионами в электролите и электронами во внешней цепи.

В случае применения растворимых электродов электродный процесс сопровождается совокупностью электрохимических реакций, скорость которых определяется общим значением потенциала на границе металл / раствор, составом раствора и условиями диффузии компонентов или продуктов реакции в растворе. В результате электролиза происходит процесс восстановления или окисления на электродах компонентов, входящих в состав электролита. В переносе тока принимают участие все находящиеся в воде ионы, а также коллоидные и взвешенные частицы, несущие заряд.[13]

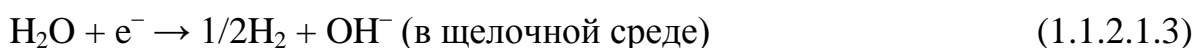
Растворение металлов происходит как за счет внешнего тока (электролитическое растворение), так и в результате взаимодействия с электролитом (химическое растворение).

Для очистки промышленных сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов, в основном применяют электрокоагуляторы с железными электродами. При использовании железных электродов в процессе электрокоагуляционной очистки воды могут протекать следующие наиболее вероятные реакции:

на аноде - переход ионов железа в раствор (анодное растворение):



на катоде:



Кроме того, на катоде могут проходить реакции восстановления катионов (железа; меди), анионов (бихромат-ионов).

Наряду с электрохимическим растворением железного анода в определенных условиях могут протекать процессы его химического растворения. Данный процесс возможен только при определенной концентрации в воде свободной кислоты. [13]

В этих условиях выход железа по току может превышать 100 %.

При электрокоагуляционной очистке воды на процесс растворения железных электродов оказывают влияние физико-химические, электрические и

гидродинамические факторы: активная реакция среды, её солевой состав, температура, химический состав железных (стальных) электродов, плотность тока, частота смены полярности, скорость движения воды в межэлектродном пространстве и другое.

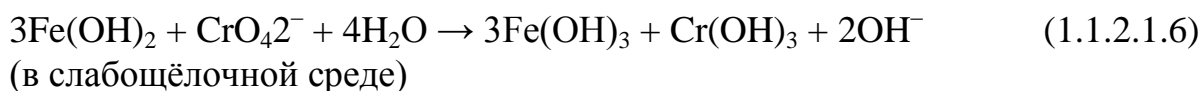
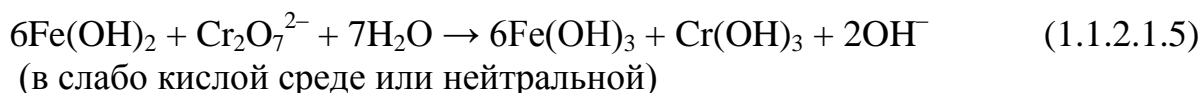
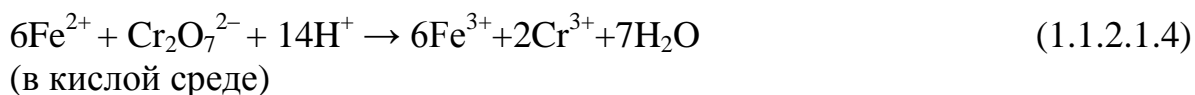
Установлено, что снижение величины pH и увеличение солесодержания обрабатываемой воды приводит к резкому увеличению скорости растворения железных анодов.

Существенное значение при очистке воды электрокоагуляцией имеет выбор оптимальной плотности тока. Наиболее выгодной может быть работа электрокоагулятора при высоких плотностях тока, так как при этом более интенсивно используется их емкость и рабочая поверхность электродов. Однако с повышением плотности тока возрастают поляризационные явления и пассивация электродов, что приводит к возрастанию напряжения и потерям электроэнергии на побочные процессы.

Наступление пассивного состояния железного анода связано с образованием на его поверхности окисной пленки или плотного осадка гидроокиси железа. Для предотвращения этих явлений предлагается менять полярность электродов в зависимости от плотности тока через 15 – 120 мин.

В последнее время большое внимание уделяется электрокоагуляционному методу очистки хромсодержащих сточных вод. Электрокоагуляция, как указывалось выше, является мобильным методом, позволяющим вести процесс очистки воды от хрома в широком диапазоне pH (от 2 до 9) с меньшими (по сравнению с другими способами очистки) капитальными и эксплуатационными затратами. [13]

Очистка хромсодержащих сточных вод в электрокоагуляторе с железными электродами основана на химическом восстановлении бихромат и хромат ионов ионами Fe^{2+} , образующимися при электролитическом растворении анодов и в результате катодного восстановления $\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$, а также гидрозаписью железа $\text{Fe}(\text{OH})_2$, образующейся в обрабатываемой воде при взаимодействии Fe^{2+} и OH^- ионов при $\text{pH} > 7,5$, согласно следующим уравнениям химических реакций:



Кроме того, может происходить восстановление $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ и CrO_4^{2-} ионов в результате катодных электрохимических процессов:



На восстановление 1 г хрома в сточной воде, обрабатываемой в электрокоагуляторе, расходуется 3,22 г железа, на что тратится по закону Фарадея - 3,09 А/ч электричества. [13]

При электрокоагуляционной обработке хромсодержащих сточных вод, как это уже отмечалось выше, имеет место не только электрохимическое растворение железного анода, но и его чисто химическое растворение в соответствии с уравнением:



Обычно величина напряжения на ванне электрокоагулятора не превышает максимально допустимого напряжения для используемых источников постоянного тока и находится в пределах 6-12 В. Очистку сточных вод от шестивалентного хрома следует вести в интервале плотностей тока от 50 до 200 А / м². По конструктивным соображениям, чтобы не применять громоздкие электрокоагуляторы и выпрямители постоянного тока, время обработки сточных вод рекомендуется выбирать в интервале от 2 до 15 мин. [14]

В ходе электрокоагуляционной очистки сточных вод происходит повышение величины рН. Это объясняется тем, что количество образующихся гидроксид ионов превалирует над количеством ионов водорода, которые образуются при гидратации ионов Fe³⁺ и Cr³⁺.

В случае содержания в обрабатываемой воде ионов тяжелых металлов (меди, цинка и никеля) последние осаждаются в виде гидроокисного осадка, при достижении величины рН начала гидратообразования. Осаждению тяжелых металлов из воды способствуют и другие процессы, происходящие в электрокоагуляторе с железными электродами.

Так, переходящие в раствор за счет анодного растворения ионы железа гидратируются с образованием гидроокиси и гидрозакиси железа, которые адсорбируют ионы цветных металлов и осаждаются вместе с ними.

Расход железа в граммах на 1 г осаждаемого иона при электрокоагуляционной очистке воды от меди составляет 3 – 3,5, от цинка – 2 – 3, от никеля – 5 – 6. Эти данные получены при обработке сточных вод с рН 4 – 6. Большинство исследователей подчеркивают, что при исходной величине рН < 2 электрокоагуляционная очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов становится технически и экономически неоправданным процессом из-за большого расхода железа. [13]

Глубина очистки воды от ионов цветных металлов электрокоагуляцией уменьшается в соответствии с рядом:

Известен метод очистки сточных вод, содержащих ионы Ni, Fe, Zn, Cr⁶⁺. Его сущность заключается в том, что электрообработку сточных вод от ионов тяжелых металлов ведут постоянным током при плотности тока 6-9 А/м² и напряжении 12 В в течение 10-15 мин, образующийся шлам, содержащий ионы тяжелых металлов, поднимают на поверхность воды пузырьками водорода, выделяющимися на алюминиевых катодах, и удаляют с поверхности воды. Технический результат - снижение затрат на расход алюминия и электроэнергии, повышение эффективности и скорости очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. [15]

Целым рядом авторов выполнены исследования по определению основных технологических параметров процесса осаждения ионов тяжелых металлов из сточных вод в ходе их обработки их в электрокоагуляторе с железными электродами [16-18]. Установлено, что эффективность очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов методом электрокоагуляции определяется следующими условиями: достижением величины рН начала гидратообразования ионов тяжелых металлов, находящихся в обрабатываемой воде; переходом в раствор такого количества железа, которого было бы достаточно для соосаждения присутствующих в воде ионов тяжелых металлов.

Удаление ионов тяжелых металлов из раствора при электрокоагуляции может происходить не только за счет гидратации и сорбции на поверхности гидроокиси железа, но и за счет образования трудно растворимых комплексных соединений тяжелых металлов с железом. На этом принципе в Японии разработан процесс очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. [19-21] На первой стадии вода подвергается обработке в электролизере с железными электродами, а затем сточную воду подщелачивают и вводят флокулянты. Осадок сгущают и подвергают аэрации для образования ферритов. Связывая ионы тяжелых металлов в ферриты, можно снизить концентрацию последних в сточных водах до 0,01-0,001 мг / л.

Метод электрокоагуляции с использованием растворимых железных анодов также был исследован Т.И. Халтуриной [22] , О.В. Чурбаковой, А.Г. Бобрик. Механизм и скорости протекания отдельных стадий электрокоагуляции зависят от многих факторов, учет которых необходим для оптимизации процесса очистки. В связи с этим были проведены исследования и изучены влияния физико-химических и электрических факторов на процесс очистки стоков, выявлены условия его проведения с минимальными затратами электроэнергии при высоком эффекте очистки. При рототабельном планировании эксперимента электрокоагуляционного обезвреживания хромсодержащих сточных вод установлено, что на остаточную концентрацию ионов хрома в большей мере влияет время контакта, исходная концентрация ионов Cr⁶⁺, плотность тока, а рН и доза депассивирующего реагента NaCl сказываются в меньшей степени.

Достоинства метода электрокоагуляции:

- высокая производительность;
- простота эксплуатации;
- малые занимаемые площади;
- малая чувствительность к изменениям параметров процесса;
- получение шлама с хорошими структурно-механическими свойствами;
- высокая бактерицидная способность процесса;
- бесшумность процесса.

Недостатки метода электрокоагуляции:

- не достигается ПДК при сбросе в водоемы рыбохозяйственного назначения;
- значительный расход электроэнергии;
- значительный расход металлических растворимых анодов;
- пассивация анодов;
- невозможность извлечения из шламов ионов тяжелых металлов из-за высокого содержания железа;
- недопустимость возврата воды в оборотный цикл из-за повышенного солесодержания;
- потребность в значительных площадях для шламоотвалов.
- необходимость грузоподъемных устройств для замены электродов.

1.1.2.2 Метод электрофлотации для очистки сточных вод

Метод электрофлотации позволяет эффективно извлечь из сточных вод медь, цинк, кобальт, никель, железо и т.п. полезные металлы. В процессе электрофлотации происходит быстрое всплытие загрязняющих веществ на поверхность воды за счет выделения электролитических газов, электростатического и флотационного эффектов.

Электрофлотация - это физико-химический способ очистки воды, заключающийся в образовании при пропускании постоянного электрического тока через водный раствор мелкодисперсных пузырьков электролитических газов (водорода и кислорода), газовых флоккул, агрегатов, состоящих из пузырьков газа и грубодисперсных примесей в виде взвешенных веществ (суспензии, эмульсии, смолистые вещества, нефтепродукты, масла, жиры, поверхностно-активные вещества). Газовые флоккулы обладают значительно большим гидравлическим сопротивлением, чем входящие в их состав примеси, и, всплывая на поверхность, захватывают эти примеси в пену, образуя устойчивый пенный слой - флотошлам.

Туда же выносятся отдельные растворимые загрязнения, адсорбирующиеся на поверхностях дисперсных частиц.

При использовании растворимых электродов (железных или алюминиевых) на аноде происходит анодное растворение металла, в результате чего в воду переходят катионы железа или алюминия, которые, взаимодействуя с гидроксильными группами, образуют гидраты закиси или окиси, являющиеся коагулянтами, что способствует более эффективной флотации. [23]

Электрофлотационный метод является многостадийным процессом, состоящим из пяти основных стадий:

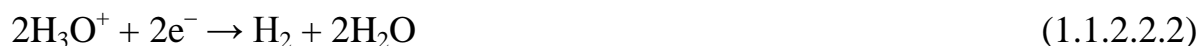
- 1) формирование в обрабатываемой воде дисперсной фазы;
- 2) электрохимическое формирование газового пузырька;
- 3) формирование газовых флоккул «частица – пузырьки газа»;
- 4) переход газовых флоккул на границу раздела «вода – воздух»;
- 5) концентрирование газовых флоккул на границе раздела «вода – воздух».

Процесс электрофлотации осуществляется за счет газообразных составляющих водорода и кислорода, генерируемых на катоде и аноде в процессе электролитического разложения (электролиза) воды. В зависимости от величины pH водной среды на электродах протекают различные окислительно – восстановительные реакции.

В нейтральной и кислой среде на аноде наблюдается поляризация и разряд молекул воды с выделением кислорода и образованием ионов гидроксония H_3O^+ :



Тем временем на катоде протекает электрохимическая реакция восстановления ионов гидроксония с выделением газообразного водорода и образованием молекул воды:



В щелочной среде на аноде в результате разряда гидроксид - ионов (OH^-) происходит выделение кислорода и образование H_2O :



На катоде в результате разряда молекул воды выделяется водород и образуются гидроксид - ионы:



Окислительно-восстановительные потенциалы приведенных выше реакций составляют +1,23 В и +0,403 В, то есть процесс протекает в условиях некоторого перенапряжения. Согласно теоретическим расчетам, при затрате 1 А·ч электричества разрушается в среднем около 0,35 мл воды и генерируется 0,40 л водорода и 0,2 л кислорода. Один из главных этапов флотации – это агрегация газовых флоккул, требующая сближения пузырьков газа и взвешенных частиц на расстояния, в пределах которых начинают действовать межмолекулярные силы взаимного притяжения. [24]

Основную роль при электрофлотации играют пузырьки водорода, образующиеся на катоде. Размер пузырьков водорода значительно меньше пузырьков кислорода, выделяющихся на аноде, и при других методах флотации. Он зависит от краевого угла смачивания и кривизны поверхности электродов. Диаметр пузырьков варьирует от 20 до 50 и 100 мкм. Из пересыщенных растворов мельчайшие пузырьки выделяются на поверхности частичек загрязнений и способствуют эффекту флотации.[14]

Специалистами Технопарка РХТУ им Д.И. Менделеева разработан и успешно внедряется на промышленных объектах – электрофлотатор. Электрофлотатор обеспечивает извлечение взвешенных веществ, нефтепродуктов, СПАВ, тяжелых металлов - меди, цинка, никеля, железа, алюминия, хрома, кадмия. Электрофлотаторы изготовлены из полипропилена, укомплектованы блоками нерастворимых электродов, устройствами сбора шлама и имеют производительность до 50 кубических метров в час. Оборудование имеет сертификаты соответствия Госстандарта РФ.

Существует способ очистки сточных вод от ионов тяжелых и цветных металлов, включающий электрохимическую нейтрализацию и электрофлотационную обработку, отличающийся тем, что после электрохимической нейтрализации в очищаемую воду вводят N,N-диметил-N-проп-2-енилпроп-2-ен-1-аминийхлорид при массовом соотношении извлекаемого металла и введенного вещества 1:(0,002-0,003). Максимальная степень очистки от металлов 99,99% достигается при массовом соотношении извлекаемого металла к введенному веществу N,N-Диметил-N-проп-2-енилпроп-2-ен-1-аминийхлорид 1:(0,002-0,003). Результаты эксперимента приведены в таблице 1.1.2.2.1.[23]

Также разработан метод очистки сточных вод электрофлотацией в присутствии коагулянта и флокулянта в устройстве, содержащем электроды, отличающийся тем, что электроды расположены в нижней части устройства, разделение жидкой и твердой фаз осуществляется в верхней части устройства в зоне концентрирования электрофлотошлама, насыщенного пузырьками электролизных газов, поднимающихся снизу вверх, при этом исходная очищаемая вода равномерно поступает сверху вниз на электрофлотошлам через расположенную в верхней части корпуса камеру с дном из перфорированного или сетчатого материала, а осветленная вода проходит в электродную зону, где дополнительно очищается от органических примесей.[25]

Таблица 1.1.2.2.1 - Степень очистки металлов

Выделяемый гидроксид металла, концентрация 50 мг/л	Степень очистки от металлов, % при различных соотношениях металла к N,N-Диметил-N- проп-2-енилпроп-2-ен-1-аминийхлорид			
	1:0,001	1:0,002	1:0,003	1:0,004
Ni ²⁺	99,69	99,99	99,99	99,56
Cu ²⁺	99,59	99,99	99,99	99,48
Zn ²⁺	99,71	99,99	99,99	99,58
Cr ³⁺	99,68	99,99	99,99	99,72

Достоинства метода электрофлотации:

- очистка до требований ПДК;
- незначительный расход реагентов;
- простота в управлении;
- небольшие площади, занимаемые оборудованием;
- возможность возврата ионов тяжелых металлов до 96%;
- возможность очистки от жиров, масел и взвешенных частиц;
- высокая сочетаемость с другими методами;
- отсутствие вторичного загрязнения воды.

Недостатки метода электрофлотации:

- незначительное (до 30%) снижение общего солесодержания очищаемых стоков;
- аноды из дефицитного материала;
- необходимость разбавления концентрированных вод;
- большой расход электроэнергии, ее дороговизна.

1.1.2.3 Гальванокоагуляционный метод очистки сточных вод

Гальванокоагуляционный метод был предложен Р.И. Остроушко еще в 1968 году. [26] Метод основан на электрохимической обработке сточных вод в электрическом поле под действием электрического тока, возникающего при переменном контакте гальванопары. Метод получил реальное применение после разработки в 1984 году работниками Алма-атинского института «Казмеханобр» под руководством кандидата технических наук Феофанова В.А. «гальванокоагулятора» - аппарата, позволившего на промышленном уровне обеспечить высокоэффективную очистку сточных вод гальванических производств и предприятий цветной металлургии.

В основе принципа гальванокоагуляции лежат одни и те же физико-химические процессы, что и в основе электрокоагуляции. Различие же заключается в способе введения в обрабатываемый сток ионов железа. При гальванокоагуляции железо растворяется гальванохимически за счет разности потенциалов, возникающей при контактировании его с коксом или медью. Железо, являясь анодом, переходит в раствор в виде магнетика, в структуру которого внедряются атомы металлов - примесей. Переменный контакт гальванопары между собой, кислородом воздуха и раствором обеспечивают эффект очистки.

В гальванокоагуляторах используются опилки, скрап (железная или алюминиевая стружка). Обычно соотношение железа с коксом выбирается 4:1, а железо с медной стружкой- 2,5:1. В результате контакта образуется гальванопара. Загрузка кокса и стружки не представляет собой трудоемкий процесс, позволяет произвести загрузку без остановки гальванокоагулятора.

За счет разности электрохимических потенциалов железо переходит в раствор без наложения тока от внешнего источника:



В качестве катодных реакций могут протекать реакции выделения водорода, контактного осаждения других металлов. [24]

На катоде идет восстановление кислорода и растворенного в воде металла с достаточно высоким электродным потенциалом:



На аноде – окисление железного скрапа:



Суммарное уравнение данных реакций выглядит таким образом:



Процесс гальванокоагуляции проводят в проточных вращающихся аппаратах барабанного типа. При вращении барабана стружечная загрузка попеременно то погружается в протекающий сквозь него сток, то оказывается на воздухе, в результате обеспечивается окисление кислородом воздуха двухвалентного железа до трехвалентного по реакциям:



Или суммарно уравнение реакции можно записать так:

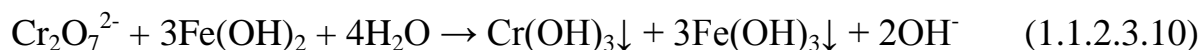
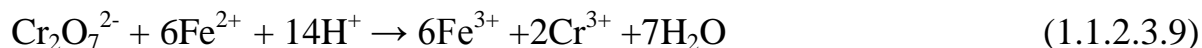


В процессе осаждения гидроксида железа (III) происходит уплотнение осадка амфотерного $\text{Fe}(\text{OH})_3$ в Fe_2O_3 :

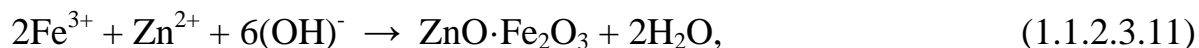


В свою очередь соединение железа (III) при контакте с железной стружкой восстанавливается до соединения железа (II).

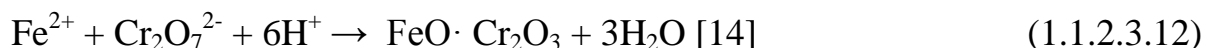
Таким образом, в обрабатываемой сточной воде образуются соединения железа (II) и (III), причем соединение железа (II) способствует восстановлению хрома (VI) до хрома (III) по реакциям:



А соединение железа (III) в виде гидроксидных соединений трехвалентного железа и оксидных (магнетита и гематита) участвуют в сорбции и коагуляции загрязнений, а также в процессе ферритообразования:



или по хрому (в кислой среде):



Так же может происходить следующий процесс:



Расход железа составляет 0,2 – 1,0 кг на 1 м³ очищаемых стоков. В ходе очистки образуется 0,4 – 1,5 кг железистого отхода. Тяжелые металлы извлекаются в виде ферритов. При pH = 2,7 наиболее эффективно извлекаются медь, цинк, хром (III), при pH = 3,5 – 3,7 наиболее эффективно извлекается никель. [27]

При гальванокоагуляции электроэнергия тратится только на вращение гальванокоагулятора мощностью 0,5 кВт на 1 м³ сточных вод. Все дальнейшие электрохимические процессы осуществляются только за счет электродных потенциалов гальванопар. Ориентировочное значение суммарного тока множества гальванопар при растворении 500 г Fe или очистки 1 м³ стоков составляет 450 А. [28]

Для улучшения эффективности очистки предварительно нужно разделить (при возможности) стоков на кислые с ионами цветных и тяжелых металлов, в том числе с шестивалентного хрома, с pH < 5 и щелочные стоки, с pH > 10.

Очистка сточных вод обеспечивается одновременным действием нескольких механизмов, основными из которых являются:

- 1) восстановление шестивалентного хрома до трехвалентного;
- 2) контактное осаждение металлов на поверхности железной стружки;
- 3) коагуляция грубодисперсных примесей;
- 4) образование ферритов;
- 5) сорбция органических веществ на свежееобразовавшихся кристаллообразных соединениях железа. [24]

Существует способ очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов гальванокоагуляцией. Способ включает пропускание воды с диспергированием воздуха через загрузку из смеси железной стружки и гранулированного углеродсодержащего материала. В качестве углеродсодержащего материала используют углеродминеральный сорбент на основе руд скрытокристаллического графита. Очистку воды ведут также при одновременном воздействии на нее асимметричного переменного тока. Данный метод очистки сточных вод отличается тем, что очистку воды ведут при

одновременном воздействии на нее асимметричного переменного тока, а также то что в нем используют гальванокоагулятор с системой анодов из неизолированных от загрузки стальных стержней и с изолированным от загрузки катодом. Технический результат заключается в повышении производительности и достижении стабильности и эффективности процесса очистки воды в экономически выгодных условиях при использовании более дешевых расходных материалов и усовершенствовании конструкции устройства. [29]

Исследования, проведенные в работе Черновой О.П. [30] показали, что отходы алюминия могут быть использованы в качестве анодной составляющей гальваномассы при очистке сточных вод гальванохимическим способом.

Существует способ очистки промышленных сточных вод, предложенный Островским Ю.В., включающий подачу газов в сточные воды, обработку их в поле гальванической пары с последующим отделением твердой фазы, отличающийся тем, что в сточные воды под давлением вводят углекислый газ и воздух, а после обработки в поле гальванической пары сточные воды пропускают через ультразвуковое поле и далее через магнитное поле, отделение твердой фазы проводят вначале в тонкослойном отстойнике, а затем на песчаном фильтре.[31]

В работе Халтуриной Тамары Ивановны [32] для исследования процесса гальванокоагуляционной очистки сточных вод, содержащих Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} были использованы следующие гальванопары: Fe-вермикулит, Fe-углеродминеральный сорбент (СГН), Fe-активированный уголь, Al-кокс, Al-активированный уголь (АУ), Al-углеродминеральный сорбент (СГН). В качестве анодной составляющей были использованы отходы предприятий металлообработки. Катодом являлись следующие материалы: вермикулит, углеродминеральный сорбент, кокс, активированный уголь. В настоящей работе также был использован в качестве загрузки активированный уголь марки БД, полученный из бурого угля Березовского разреза КАТЭКа. Наиболее глубокая очистка по ионам Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} достигается при использовании в качестве активной загрузки гальванопары Al-СГН.

В дальнейших исследованиях Халтуриной Т.И.[33] были проведены эксперименты по использованию гальванокоагуляционного метода очистки сточных вод гальванического производства от ионов Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} с применением в качестве гальванопары Al - углеродминеральный сорбент в соотношении 1:4. В качестве алюмосодержащей составляющей были использованы отходы производства Красноярского металлургического завода - алюминиевая стружка. В результате эксперимента было выяснено, что гальванокоагуляционное обезвреживание при использовании в качестве загрузки Al - СГН позволяет достичь глубокую очистку (до 99,99%) по ионам Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} снизить солесодержание в 1,5 раза и вернуть обезвреженные стоки в систему оборотного водоснабжения завода.

Также Т.А. Курилиной и Т.И. Халтуриной [34] были проведены исследования процесса гальванокоагуляции сточных вод, содержащих ионы

тяжелых металлов в диапазоне pH стоков 3,5-6,5 при использовании гальванической пары Fe - углеродминеральный сорбент (в соотношении 4:1). В результате эксперимента было предложено интенсифицировать процесс гальванокоагуляции при наложении внешнего электрического поля и обработке ассиметричным током.

Достоинства метода гальванокоагуляции:

- простота аппаратного оформления;
- возможностью применения данного метода как при малой, так и при достаточно большой концентрации ионов шестивалентного хрома, тяжелых и цветных металлов;
- малая энергоемкость;
- высокая скорость процесса;
- значительное снижение концентрации сульфат-ионов;
- низкие эксплуатационные затраты;
- в качестве реагента используются отходы железа.

Недостатки метода гальванокоагуляции:

- отсутствие возможности регулирования применительно к различным видам сточных вод, так как циклы замыкания и размыкания составляющих гальванопары происходят произвольно;
- необходимость поддержания соотношения стружки и кокса (или медной стружки);
- неудобство засыпки загрузки и необходимостью тщательной фильтрации от мелкодисперсной фазы, состоящей из частиц кокса и оксидов железа;
- большие количества осадка и сложность его обезвоживания.

1.1.3 Сорбционные методы очистки сточных вод

Сорбция – процесс поглощения одного вещества другим. Очистка сточных вод от тяжелых металлов проходит за счет их поглощения сорбентом, в напорных или безнапорных фильтрах.

Поглощающее тело называется сорбентом, а поглощаемое – сорбатом. В зависимости от механизма сорбции различают адсорбцию, абсорбцию, хемосорбцию.

Поглощение вещества всей массой жидкого сорбента называется абсорбция, а поверхностным слоем твердого или жидкого сорбента – адсорбция. Сорбция, сопровождающаяся химическим взаимодействием сорбента с поглощаемым веществом, называется хемосорбцией.

Обеспечивающие высокую эффективность очистки сорбционные методы целесообразно применять для извлечения из сточных вод ценных растворенных веществ с их последующей утилизацией и использованием очищенных сточных вод в системе оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

В качестве сорбентов применяют различные искусственные и природные пористые материалы: золу, коксовую мелочь, торф, силикагели, алюмогели,

активные глины и др. Эффективными сорбентами являются активные угли разных марок.

Сорбционные методы можно условно поделить на три разновидности:

- сорбция на активированном угле (адсорбционный обмен);
- сорбция на ионитах (ионный обмен);
- комбинированный метод.

Известна установка для очистки воды от тяжелых металлов, которая представляет собой пропускание воды в динамическом режиме через колонку со смесью двух модифицированных сорбентов в соотношении 2:1. Первый сорбент получают путем иммобилизации на анионит АВ-17 2-{2-(α -2-окси-5 сульфифенилазо)-бензилидин гидразин бензойной кислоты, а второй - путем иммобилизации на силикагель, обработанный хлоридом цетилпиридиния, 2,6,7-триоксифенилфлуорона. Изобретение позволяет одновременно извлекать кадмий, свинец, медь, цинк, хром и марганец, причем 100 дм³ воды очищается 20 г смеси сорбентов в течение часа. [35]

Также в качестве сорбентов в различных исследованиях предлагаются:

- отходы пивоваренной промышленности (картон с сорбированным штаммом дрожжей *Saccharomyces carlsbergensis*; [24]
- древесные опилки, предпочтительно сосновые, обработанные сополимером винилового эфира моноэтаноламина с виниловым эфиром 4-метилазагепта-3,5-диен -1,6-диола (СВЭМВЭ); [24]
- растительный материал; [36]
- железные опилки; [36]
- цеолиты, силикагели, бентонит; [36]
- глины; [36]
- вермикулит. [36]

1.1.3.1 Адсорбционный метод очистки сточных вод

Адсорбционный метод является одним из эффективных методов извлечения цветных металлов из сточных вод гальванопроизводства. В качестве сорбентов используют активные угли, синтетические сорбенты и некоторые отходы производства (золу, шлаки, опилки и т.д.). К минеральным сорбентам относят: глины, силикагели, алюмогели, гидраты окислов.

Наиболее универсальными из сорбентов являются активные угли. Они должны слабо взаимодействовать с молекулами воды и хорошо с органическими веществами, быть крупнопористыми (с эффективным радиусом адсорбционных пор в пределах 4,8-5,0 ангстрем) чтобы их поверхность была доступна для больших и сложных органических молекул. При малом контакте с водой они должны иметь высокую адсорбционную емкость, высокую селективность и малую удерживающую способность при регенерации. При соблюдении последнего условия затраты на реагенты для регенерации угля будут небольшими. Угли должны быть прочными и не подвергаться

истиранию, быстро смачиваться водой, иметь определенный гранулометрический состав.

Процесс адсорбции складывается из трех стадий:

- перенос вещества из сточной воды к поверхности зерен адсорбента (внешнедиффузионная область);
- собственно адсорбционный процесс, перенос вещества внутри зерен адсорбента (внутридиффузионная область);
- отвод от адсорбента противоположного иона.

Разработан метод адсорбционной очистки сточных вод гальванических производств от ионов тяжелых металлов. Способ очистки включает получение ферритизированного гальваношлама в процессе обезвреживания осадков сточных вод гальванических производств методом ферритизации, его обезвоживание, сушку и измельчение, добавлением в реактор к сточным водам измельченного ферритизированного гальваношлама, перемешивание полученной смеси в течение 120 минут, разделение фаз и возврат очищенной воды в производство, причем часть суспензии ферритизированного гальваношлама влажность примерно 95% при массовом отношении ионов тяжелых металлов, содержащихся в сточных водах, к твердой фазе шлама, равном 1:10, подают на стадию нейтрализации сточных вод, а другую часть после сушки используют в качестве сорбента для очистки сточных вод при массовом соотношении ионов тяжелых металлов, содержащихся в сточных водах, к твердой фазе шлама, равном 1:15. Технический результат - глубокая очистка сточных вод гальванического производства от ионов тяжелых металлов, интенсификация процесса осветления сточных вод, уменьшение количества образующегося осадка. [37]

Также был разработан способ очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов путем сорбции на композиционном сорбенте, отличающийся тем, что в качестве сорбента используют гальваношлам, гранулированный с полимерным связующим с составом 75-83%, 17-25% соответственно. В качестве полимерного связующего используют полимеры, растворимые в растворителях, смешивающихся с водой. Способ отличается простотой и экономичностью и позволяет осуществить очистку стоков до уровня ПДК при повышении производительности процесса.[38]

Достоинства адсорбционного метода:

- очистка сточных вод до ПДК;
- возможность совместного удаления различных по природе примесей;
- отсутствие вторичного загрязнения очищаемых вод;
- возможность возврата очищенной воды после корректировки pH.

Недостатки адсорбционного метода:

- дороговизна сорбентов;
- большой расход реагентов для регенерации сорбентов;
- громоздкость оборудования;
- образование вторичных отходов, требующих дополнительной очистки.

1.1.3.2 Очистка сточных вод методом ионного обмена

Гетерогенный ионный обмен или ионообменная сорбция - это процесс обмена между ионами, находящимися в растворе, и ионами, присутствующими на поверхности твердой фазы - ионита. Очистка сточных вод методом ионного обмена позволяет извлекать и утилизировать ценные примеси (для нашего случая это хром, цинк и никель), очищать воду до ПДК с последующим ее использованием в технологических процессах или в системах оборотного водоснабжения.

Существуют два вида ионообменных смол - одни смолы способны к обмену катионами, другие - к обмену анионами. Смолы, которые способны к обмену катионами, называются катионообменными смолами, а процесс, протекающий с их участием, - катионированием. Различают две разновидности катионообменных процессов: Н-катионирование (смолы обменивают катионы, которые присутствуют в растворе, на ионы водорода) и Na-катионирование (смолы обменивают ионы, которые присутствуют в растворе, на ионы натрия). Полимерные материалы, способные к обмену анионами, называют анионообменными смолами, а процесс, протекающий с их участием, - анионированием. Имеются две разновидности анионообменных смол. Одни смолы обладают способностью к обмену с анионами сильных кислот (в процессе работы они хемосорбируют на своей поверхности Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- ; в раствор переходят ионы OH^-); другие хемосорбируют анионы слабых кислот - угольной и кремниевой кислот. Независимо от вида применяемой смолы в раствор поступают ионы OH^- .

Процесс ионного обмена является периодическим и состоит из нескольких стадий:

- 1) очистка воды или раствора;
- 2) промывка ионита;
- 3) регенерация ионита;
- 4) окончательная отмывка ионообменника.

В процессе основного рабочего цикла происходит насыщение смолы ионами, присутствующими в растворе. В процессе Н-катионирования нижние слои смолы остаются с активными центрами, содержащими ионы H^+ , далее следует слой катионита, содержащий ионы Na^+ . И, наконец, верхние слои адсорбировали катионы Ca^{2+} .

Процесс анионирования происходит аналогичным образом. Очередность расположения слоев, заполненных анионами OH^- , сильных и слабых кислот. Обычно цикл заканчивают в то время, когда остается значительное количество неиспользованной обменной емкости ионита. Это объясняется тем, что при регенерации ионитов расходуются реагенты в количествах, значительно превышающих их стехиометрические значения. Если бы смолы использовались до полного истощения, то это привело бы к значительному перерасходу регенерационных реагентов.

Регенерацию смолы проводят для удаления сорбированных ионов и подготовки ионообменника к новому рабочему циклу. Выбор регенерационного раствора зависит от типа ионообменника: при Na-катионировании в качестве регенерационного раствора используют раствор поваренной соли NaCl, при H-катионировании - любую минеральную кислоту (чаще раствор серной кислоты, как наиболее дешевый). Регенерацию анионитов осуществляют раствором щелочи NaOH.

Наибольшее практическое значение для очистки сточных вод приобрели синтетические ионообменные смолы - высокомолекулярные соединения, углеводородные радикалы которых образуют пространственную сетку с фиксированными на ней ионообменными функциональными группами. Пространственная углеводородная сетка называется матрицей, а обменивающиеся ионы - противоионами. Каждый противоион соединен с противоположно заряженными ионами, называемыми анкерными. Реакция ионного обмена протекает следующим образом при контакте с катионом:



где R - матрица;

H - противоион;

SO₃ - анкерный ион.

При контакте с анионом происходят следующие реакции:



На заводе “Почвомаш” (Киров) внедрен процесс очистки промстоков гальванических производств от ионов хрома волокнистыми материалами. Для сорбции анионов хрома используют материал ВИОН АС-1, имеющий в своем составе сильноосновные винилпиридиниевые группы с СОЕ 1.1 – 1.2 мг·экв/г. Изготовлены две сорбционных колонны из коррозионно-стойкой стали объемом 50 л каждая. Сорбция хрома зависит от его концентрации в исходном растворе. Так, если концентрация составляет до 10 мг/л, то в фильтрате его не обнаруживают. Однако при концентрации аниона хрома 75 мг/л и выше содержание его в фильтрате 0.04 – 0.01 мг/л, что вполне допустимо при замкнутом цикле. Влияние исходной концентрации раствора хрома на его содержание в фильтрате обусловлено высоким ионным радиусом Cr₂O₇²⁻, вызывающим стерические затруднения при сорбции на волокнистом хемосорбенте. При высоком содержании хрома следует уменьшить скорость подачи раствора на сорбционную колонну. В этом случае возрастает степень очистки. При достижении насыщения сорбционных колонн их снимают со стенда и транспортируют в отделение гальванохимической переработки для регенерации хемосорбционного материала и утилизации элюата. Регенерацию ВИОН АС-1 проводят раствором Na₂CO₃. При этом в каждую колонну

заливают по 50 л раствора и оставляют его на 3 часа. Последующая операция заключается в промывке фильтра водой. [24]

Система mod-ix фирмы “Krebs & Co.AG” (Германия) включает предварительный фильтр, вентили, трубопроводы, насосы, приборы для контроля качества воды по ее электросопротивлению и две интегрированные в нее ионообменные колонки с пропускной способностью 1.5 – 4 м³/ч. Одна из колонок используется по прямому назначению, другая в это время регенерируется. Описанная система состоит из отдельных модулей и поэтому легко монтируется и демонтируется. [36]

Установка для очистки сточных вод от тяжелых металлов ионообменными фильтрами, включающая анионитовый фильтр с сильноосновным анионитом, смеситель и осветлитель воды, отличающаяся тем, что она дополнительно содержит катионитовый фильтр с сильнокислотным и слабокислотным катионитами в Н⁺ форме, расположенный после осветлителя воды, выполненного с перегородками в виде коаксиально расположенных усеченных конусов, разделяющих внутреннее пространство на тонкие слои, а смеситель, в который сточная вода поступает после сильноосновного анионообменного фильтра, представляет собой цилиндрическую трубу с расположенными в ней винтовыми элементами в форме скрученных под углом плоских лево- и правозагнутых пластин, чередующихся по всей длине трубы, причем анионитовый фильтр выполнен с сильноосновным анионитом в ОН⁻ форме.[39]

Также в практике очистки сточных вод имеется установка системы Асахи [3] работает по принципу фильтрации во взвешенном слое. Фильтрация воды, регенерация и отмывка смолы осуществляются в трех отдельных колоннах. Вследствие большой скорости движения воды фильтрующий слой смолы всплывает к сетке и находится в колонне в относительно разрыхленном состоянии.

Достоинства метода ионного обмена:

- возможность очистки до требований ПДК;
- возврат очищенной воды в оборот до 95%;
- возможность утилизации тяжелых металлов.

Недостатки метода ионного обмена:

- необходимость предварительной очистки сточных вод от масел, ПАВ, растворителей, органики, взвешенных веществ;
- большой расход реагентов для регенерации ионитов и обработки смол;
- громоздкость оборудования;
- высокая стоимость ионообменных смол;
- образование вторичных отходов-элюатов, требующих дополнительной переработки.

1.1.3.3 Комбинированный сорбционный метод очистки сточных вод

Наиболее распространенным из всех разновидностей сорбционного метода является комбинированный метод, который заключается в использовании и угля, и ионитов одновременно для извлечения ионов Cr^{+6} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} . Суть данного метода такова: сточные воды подаются на гравийно-угольный фильтр, затем последовательно на сильноокислый катионит, слабоосновной анионит и далее - сильноосновной анионообменник.

1.1.4 Мембранные методы очистки сточных вод

Мембранный метод очистки сточных вод основан на свойствах пористых тел пропускать предпочтительнее одни вещества, чем другие. Принципиальное отличие мембранного метода от традиционных приемов фильтрования - разделение продуктов в потоке, то есть разделение без осаждения на фильтроматериале осадка, постепенно закупоривающего рабочую пористую поверхность фильтра.

Основные требования предъявляемые к полупроницаемым мембранам, используемым в процессах мембранного разделения, следующие:

- высокая разделяющая способность (селективность);
- химическая стойкость к действию среды разделяемой системы;
- высокая удельная производительность (проницаемость);
- неизменность характеристик при эксплуатации;
- достаточная механическая прочность, отвечающая условиям монтажа, транспортировки и хранения мембран;
- низкая стоимость.[40]

Зубаковой Л.Б. были изучены характеристики синтетических мембран. Рассмотрим основные свойства фильтрующих материалов приведенных в таблице 1.1.4.1.[41]

Таблица 1.1.4.1 - Характеристика синтетических мембран

Тип	Материал	Структура	Метод	Применение
Керамические и металлические	Глина, силикагель, алюмосиликат, графит, серебро, вольфрам	Микропоры с диаметром от 0,05 до 20 мкм	Плавление или спекание керамических или металлических порошков	Фильтрация при повышенных температурах, разделение газов
Стеклянные	Стекло	Микропоры с диаметром от 10 до 100 мкм	Вывод растворимой в кислоте фазы из двухкомпонентной стеклянной смеси	Фильтрация суспензий и воздуха
Спеченные полимерные	Политетрафторэтилен, полиэтилен, полипропилен	Микропоры с диаметром от 0,1 до 20 мкм	Плавление и спекание полимерного порошка	Фильтрация суспензий и воздуха
Протравленные	Поликарбонат, полиэфир	Микропоры с диаметром от 0,02 до 20 мкм	Облучение полимерной пленки и травление кислотой	Фильтрация суспензий и биологических растворов

Окончание таблицы 1.1.4.1

Тип	Материал	Структура	Метод	Применение
Симметричные микропористые с обратной фазой	Целлюлозные эфиры	Микропоры с диаметром от 0,1 до 10 мкм	Литье полимерного раствора и осаждение полимера осадителем	Стерильное фильтрование, очистка воды, диализ
Ассиметричные	Целлюлозный эфир, полиамид, полисульфон	Гомогенная или микропористая, "покрытие" микропористой подложки	Литье полимерного раствора и осаждение полимера осадителем	Ультрафильтрация и разделение обратным осмосом молекулярных растворов
Составные	Целлюлозный эфир, полиамид, полисульфон	Гомогенная полимерная пленка на микропористой подложке	Осаждение тонкой пленки на микропористой подложке	Обратный осмос, разделение молекулярных растворов
Гомогенные	Силиконовый каучук	Гомогенная полимерная пленка	Экструзия полимерной пленки	Разделение газов
Ионообменные	Поливинилхлорид, полисульфон, полиэтилен	Гомогенная или микропористая полимерная пленка с положительно или отрицательно заряженными фиксированными ионами	Погружение ионообменного порошка в полимер или сульфанирование и аминирование гомогенной полимерной пленки	Электродиализ, обессоливание

Мембранная очистка сточных вод может осуществляться несколькими способами:

- Обратный осмос – это тип мембранной очистки сточных вод, в ходе которого к раствору прикладывается давление, превышающее его осмотическое давление, и растворитель перетекает через мембрану.

- Ультрафильтрация – это вид мембранной очистки сточных вод, при котором перетекание осуществляется за счет давления и различия молекулярных масс или молекулярных размеров компонентов разделяемого раствора.

- Микрофильтрация – это мембранная очистка сточных вод, в ходе которой взвеси и коллоидные растворы разделяются под действием давления.

- Диализ – это мембранная очистка сточных вод, основанный на различии скорости диффузии различных веществ, проходящих через мембрану, для осуществления которой необходим градиент концентрации.

- Электродиализ – это мембранная очистка сточных вод, при которой ионы растворенного в воде вещества проходят через мембрану под действием электрического тока.

Наибольшие успехи в отношении эффективности и технологичности выделения цветных металлов достигнуты при использовании обратного осмоса, ультрафильтрации и электродиализа. [14]

1.1.4.1 Применение метода обратного осмоса для очистки сточных вод

Данный метод представляет собой баромембранный процесс обратный осмосу. Мембраны обратного осмоса характеризуются высокой плотностью селективного слоя с мельчайшими порами. Процесс обратного осмоса зависит от коэффициентов ионной диффузии веществ в воде.

Обратный осмос относится к группе баромембранных технологий. Движущей силой процесса является разница давлений по обе стороны полупроницаемой пористой мембраны.

Материалом для изготовления мембран обычно служат ацетат целлюлозные и полиамидные пленки или полые волокна. Конструктивно фильтрующие элементы могут быть выполнены двух типов:

- рулонные;
- половолоконные.

За счет особенностей внутреннего строения модулей входной поток разделяется на части:

- пермеат – очищенная вода, прошедшая сквозь мембрану;
- концентрат – грязная вода с высоким содержанием примесей не прошедших через поры мембраны.

Давление Π в растворе, заставляющее растворитель переходить через мембрану, называют осмотическим давлением. Величина осмотического давления Π (Па) для растворов определяется по уравнению Вант-Гоффа:

$$\Pi = R \cdot T \cdot c, \quad (1.1.4.1.1)$$

где R – газовая постоянная;

T – абсолютная температура раствора, К;

c – молярная концентрация растворенного вещества. [42]

Механизм обратного осмоса состоит в том, что мембраны собирают воду, которая в поверхностном слое не обладает растворяющей способностью, и через поры мембраны будет проходить только чистая вода, несмотря на то, что размер многих ионов загрязнителей меньше, чем размер молекул воды. Это объясняется явлением адсорбции молекул воды у поверхности мембраны. Механизм гиперfiltrации при обратном осмосе через пористую мембрану объясняется тем, что поры такой мембраны достаточно велики, чтобы пропускать молекулы растворителя, но слишком малы, чтобы пропускать молекулы растворенных веществ. При обратном осмосе отделяются частицы (молекулы, гидратированные ионы), размеры которых не превышают размеров молекул растворителя, при этом мембраной задерживаются как высокомолекулярные вещества, так и большая часть низкомолекулярных веществ, а проходит через поры мембраны только почти чистый растворитель. [43]

Технопарк РХТУ им. Д.И. Менделеева представляет уникальную технологию очистки сточных вод сложного состава с использованием установок ультраfiltrации, изготавливаемых на основе трубчатых

керамических УФ мембран нового поколения. Данная технология позволяет вести очистку воды в тяжелых рабочих условиях (крайние значения pH, присутствие сильных окислителей, температура до 110 °C) без снижения производительности установок и физического износа керамических элементов. Керамические мембраны серийно выпускаются в РХТУ им. Д.И. Менделеева.[44]

Промышленное значение обратный осмос приобрел в 60-х годах 20-го века, когда были созданы анизотропные ацетатцеллюлозные мембраны. Ацетатцеллюлозные мембраны для обратного осмоса состоят из активного слоя с порами размером порядка 15 – 25 Å и толщиной в десятые доли микрона и крупнопористого подслоя толщиной порядка 100 мкм. Слои эти слиты в единое целое и между ними имеется переходная область. Активный слой контактирует с разделяемым раствором и обеспечивает селективные свойства мембраны, а толстый подслой придает мембране прочность, практически не оказывая гидравлического сопротивления потоку пермеата. Благодаря этому ацетатцеллюлозные мембраны характеризуются приемлемо высокими значениями селективности и удельной производительности.[42]

Достоинства метода:

- возможность очистки до требований ПДК;
- возврат очищенной воды до 60% в оборотный цикл;
- возможность утилизации тяжелых металлов;
- возможность очистки в присутствии лигандов, образующих прочные комплексные соединения;
- возможность осуществления метода при температуре окружающей среды.

Недостатки метода:

- необходимость предварительной очистки сточных вод от масел, ПАВ, растворителей, органики, взвешенных веществ;
- дефицитность и дороговизна мембран;
- сложность эксплуатации, высокие требования к герметичности установок;
- большие площади, высокие капитальные затраты;
- отсутствие селективности;
- чувствительность мембран к изменению параметров очищаемых стоков.

1.1.4.2 Применение метода электродиализа для очистки сточных вод

Электродиализ - процесс мембранного разделения, в котором ионы растворенного вещества переносятся через мембрану под действием электрического поля. Движущей силой процесса является градиент электрического потенциала. Под действием электрического поля катионы перемещаются по направлению к отрицательному электроду (катоде). Анионы движутся по направлению к положительно заряженному электроду (аноду). При правильной комбинации мембран обоих типов наблюдается разделение

ионов входящего раствора, при этом образуется обессоленный поток, так называемый дилуат, и поток концентрированный, или концентрат. Таким образом, разделение осуществляется за счет воздействия электрического поля и высокой избирательной способности (пермселективности) ионообменных мембран к компонентам раствора.

Метод электродиализа целесообразно применять для очистки стоков после процессов гальванических покрытий. Это дает возможность не только повторно использовать очищенную воду и регенерированные кислоты, но и утилизировать сконцентрированные вещества. [45-50]

В работе [51] предложен метод регенерации серно- и солянокислых растворов путем электролиза с применением ионообменных мембран. Электродиализ проводился в трехсекционной ячейке с титановыми вращающимися катодами и свинцовыми анодами при катодной плотности тока 30-35 А/дм², анодной плотности тока 20-25 А/дм², температуре ≤ 35 °С и напряжением на электродах 7-12 В. Продолжительность регенерации 1 м³ раствора составляла 10 ч и расход электроэнергии 2500 кВт-ч. Из 1 м³ отработанных травильных растворов (ОТР) получены 95 кг электрохимически чистого железа и 170 кг серной кислоты.

Модификацией электродиализной установки, запатентованной в Японии фирмой "К.к. Тамозгава сэйсокусе", является конструкция разделительного элемента типа "фильтр-пресс". Основной особенностью элемента является конструкция пластины, под которой размещается полимерная мембрана. С целью снижения сопротивления потоку обрабатываемой сточной воды на плоской поверхности мембраны имеются продольные или поперечные неглубокие канавки для равномерного распределения жидкости и снижения концентрационной поляризации. [52]

Широкому внедрению электродиализа для регенерации ОТР препятствует малая интенсивность процесса, относительно высокие эксплуатационные затраты, связанные с большим расходом электроэнергии и необходимостью применения коррозионностойких материалов.[53, 54] Поэтому в области интенсификации процесса электродиализа с применением мембран ведутся широкие исследования.

Среди достоинств электродиализного метода очистки сточных вод необходимо отметить возможность создания систем оборотного водоснабжения, простоту технологической схемы, компактность, возможность создания аппаратов с различной производительностью. [55, 56]

Несмотря на очевидные теоретические преимущества, метод электродиализа пока не получил широкого распространения в отечественной гальванотехнике. Это объясняется тем, что серийно выпускаемые электродиализаторы имеют большое межмембранное расстояние (2мм), что ведет к увеличению их размеров, росту омических потерь, а также снижению удельной производительности аппаратов. Этот недостаток удалось преодолеть разработкой ряда установок, содержащих в межмембранном пространстве зерна ионитов или ионообменные волокна. [57, 58]

Достоинства метода:

- возможность очистки до требований ПДК;
- возврат очищенной воды до 60% в оборотный цикл;
- возможность утилизации ценных компонентов;
- отсутствие фазовых переходов при отделении примесей, что позволяет вести процесс при небольшом расходе энергии;
- возможность проведения при комнатных температурах без применения или с небольшими добавками химических реагентов;
- простота конструкций аппаратуры.

Недостатки метода:

- необходимость предварительной очистки стоков от масел, ПАВ, органики, растворителей, солей жесткости, взвешенных веществ;
- значительный расход электроэнергии;
- дефицитность и дороговизна мембран;
- сложность эксплуатации;
- отсутствие селективности;
- чувствительность к изменению параметров очищаемых вод.

1.1.5 Биохимический метод очистки сточных вод

Суть метода заключается в обработке сточных вод накопительной культурой сульфатовосстанавливающих бактерий. В анаэробных условиях при наличии органического питания эти бактерии восстанавливают содержащиеся в воде сульфаты до сероводорода, который связывает ионы тяжелых металлов Cr^{+6} , Cr^{+3} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} в нерастворимые в воде сульфиды. После отстаивания их удаляют в виде шлама.

В Уфимском нефтяном институте разработан комплексный метод биохимического извлечения хрома. Сущность его заключается в использовании специализированных бактериальных культур, отличающихся высокой стойкостью к отравляющему действию хрома. Хромсодержащие сточные воды подают в соответствующие емкости-накопители, затем - в биотенк, где смешиваются с бактериальными культурами. Из биотенка очищенные воды отводятся в отстойник, после чего направляются в фильтры для доочистки. Очищенная вода поступает на повторное использование. Хромсодержащие осадки, образующиеся в биотенках, отстойниках и фильтрах, подаются в шламонакопитель, обезвоживаются на вакуум-фильтрах и используются в качестве добавок при производстве строительных материалов. Достоинствами этого метода являются высокая эффективность и простота технологического оформления процесса. [14].

Германскими учеными был предложен способ выделения хрома путем сорбции на биомассе активного ила или других сорбентах растительного происхождения, отличающийся тем, что биомассу предварительно обрабатывают растворами кислот, щелочей, солей или органическими растворителями. При этом значительно увеличиваются сорбционные свойства

биомассы и возрастает скорость десорбции хрома из растворов выщелачивания. [24]

Отделом химической технологии Национальной лаборатории Oak Ridge (штат Теннесси) был предложен биологический способ выделения хрома, где в качестве сорбента используют шарики размером с булавочную головку, полученные из морских водорослей, которые содержат около 1 миллиона микроорганизмов каждый. Извлечение проводится по принципу кипящего слоя в колоннах. После насыщения сорбент отфильтровывают, сушат и сжигают, получая концентрат сорбируемых примесей. [24]

В Днепропетровском университете предложен способ очистки сточных вод от тяжелых металлов биофильтраторами - личинками бесхвостых амфибий в емкостях или естественных прудах при плотности посадки личинок в сточных водах 500-1000 экз/м³. [24]

Английскими учеными проведено исследование по изучению поведения тяжелых металлов в кратковременных экспериментах очистки сточных вод в гидропонической системе с гравиевым основанием. Были проведены исследования удаления кадмия, хрома, никеля, меди и цинка из предварительно очищенных сточных вод. Определено, что степень удаления этих металлов зависит от времени экспозиции, от 6 до 8 часов, моделируя перелив или залповую нагрузку. Измерялись концентрации металлов в осадке, а также в листьях, стеблях и корнях. Большая эффективность удаления наблюдалась для хрома, меди, никеля и цинка (до 70% после 6 – 8 часов). Из смеси всех 5 металлов хром удалялся более, чем на 95%. Применяемая гидропоническая система имела 12 м длины. Добавление тяжелых металлов к сточным водам приводило к отчетливому ослаблению культуры только на первых 2 – 3 метрах. Растения, растущие дальше были здоровыми и хорошо развивались. [24]

Достоинства:

- несложное аппаратное оформление;
- невысокие эксплуатационные затраты.

Недостатки:

- большие капитальные затраты;
- необходимость предварительного удаления токсичных веществ;
- строгое соблюдение технологического режима очистки.

1.1.6 Выводы

Очистка сточных вод гальванических производств необходима как неотъемлемая часть технологического процесса нанесения гальванических покрытий. Гальваностоками преимущественно являются промывные воды и отработанные концентрированные электролиты основных ванн.

Стоки загрязнены как компонентами самих электролитов, так и веществами, поступающими с поверхности обрабатываемых деталей. Для гальваностоков характерно присутствие таких специфических загрязнителей,

как ионы тяжелых металлов, причем их концентрация и разнообразие отличают данный тип стоков от любых других промышленных стоков.

Вещества, поступающие в окружающую среду, в том числе и в водоёмы, а через питьевую воду в организм человека, помимо токсического действия обладают канцерогенным (способны вызвать злокачественные новообразования), мутагенным (могут вызвать изменения наследственности) и тератогенным действием (способны вызвать уродства у рождающихся детей). Ионы тяжёлых металлов (хрома, никеля, меди, кадмия, цинка, свинца) нарушают работу кальмодулина – одного из основных регуляторов процессов жизнедеятельности организма и других важнейших белков. Токсикологическое действие тяжёлых металлов – сердечнососудистые расстройства, рак, наследственные болезни, дебилность, паралич, эпилепсия.

Основные вещества, подлежащие обезвреживанию – шестивалентные соединения хрома, цианиды (CN^-), ионы тяжелых и цветных металлов: Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Sn^{2+} , Pb^{2+} . Для этого применяются реагентный, электрохимические, сорбционные и мембранные методы.

Наиболее широко применяемый реагентный метод, достаточно прост и дешев, однако не решает проблему утилизации ценных компонентов, которые безвозвратно теряются с осадками. В результате чего почвы загрязняются токсичными шлаками. Кроме того, метод не обеспечивает необходимого качества очистки сточных вод, предполагая направлять стоки на доочистку в городской коллектор, причиняя немалый ущерб окружающей среде и подрывая бюджет предприятия.

Электрохимические методы очистки сточных вод гальванического производства обладают рядом преимуществ: простая технологическая схема при эксплуатации оборудования, удобство автоматизации его работы, сокращение производственных площадей под размещение очистных сооружений, возможность очистки сточных вод без предварительного разбавления, снижение солесодержания и уменьшение объема осадка, образующегося в процессе очистки.

Мембранные и сорбционные методы обладают рядом преимуществ: очистка стоков до требований ПДК; возможность возврата очищенной воды в оборотный цикл; возможность утилизации тяжелых металлов. Метод имеет и ряд недостатков: мембраны, сорбенты и смолы являются дорогими и дефицитными; мембранный метод чувствителен к изменению параметров воды и нуждается в предварительной очистке от взвешенных частиц и масел; громоздкость оборудования.

Представленные выше методы очистки сточных вод гальванического производства самостоятельно не позволяют достичь выполнения современных требований: очистка до норм ПДК сточных вод, особенно по тяжелым металлам, таким как медь; возврат воды на оборотное водоснабжение гальванического производства; низкая стоимость очистки, утилизация ценных компонентов.

Наиболее целесообразно применять комбинированные методы. При значительных объемах промышленных сточных вод на очистных сооружениях целесообразно применять электрохимические и мембранные методы очистки воды (электрофлотация, ультрафильтрация, обратный осмос), а общую систему очистки сточных вод создавать комбинируя технологии: предварительную реагентную обработку, электрофлотацию, фильтрацию, сорбцию, мембранное концентрирование, выпаривание.

При малом объеме производства предпочтение рекомендуется отдать локальным системам очистки на базе сорбционных, ионообменных и мембранных технологий.

Глава 2. Разработка технологии очистки сточных вод гальванического производства предприятий металлообработки

2.1 Обезвреживание хромсодержащих сточных вод при использовании железной стружки

Сточные воды, содержащие токсичный Cr^{+6} , образуются при хромировании деталей в цехе ОАО КРАМЗа в количестве 15 м^3 в месяц промывных и 5 м^3 в месяц рабочих, по нормам их очищать рекомендуется до ПДК Cr^{+6} $0,1 \text{ мг/л}$, при сбросе их в городскую канализацию.

Как показали результаты анализа, среднее содержание ионов Cr^{+6} в промывных водах колеблется от 30 мг/дм^3 до 90 мг/дм^3 , pH стоков 9-9,5.

На заводе для их очистки предусмотрены фильтрационные колонны $h=1500 \text{ мм}$, полезной высотой $H=1800 \text{ мм}$. Высота загрузки Fe-стружек 1500 мм . Процесс очистки хромсодержащих сточных вод заключается в восстановлении Cr^{+6} ионами Fe^{+2} , образующимися в процессе химического растворения Fe-стружки. На эффект очистки при фильтрации значительное влияние оказывает скорость ее, pH и исходная концентрация Cr^{+6} .

На кафедре ИСЗиС ИСИ СФУ были проведены лабораторные исследования по очистке хромсодержащих сточных вод фильтрацией через железную стружку имеющую следующий химический состав: Fe–98,8%;C–0,22%;Si–0,05%;Mn–0,65%; P– 0,04%; S – 0,05%; Cr –0,03%;Ni – 0,16%. Цикл исследований проводился на модели фильтра из оргстекла площадью $10,75 \text{ см}^2$ и высотой 73 см . Вода, содержащая Cr^{+6} в концентрациях от 30 мг/дм^3 до 90 мг/дм^3 , pH 1,5-3, 9-9.5 подавалась в переливную камеру, а затем на фильтры, загруженные Fe-стружкой. В каждом цикле опыты проводились по одной и той же концентрации Cr^{+6} , но при разной скорости фильтрации. Границы области исследованы и интервалы варьирования приведены в таблице 2.1.1. Обработка результатов экспериментальных исследований была проведена в табличном процессоре Excel, получено уравнение аппроксимации. В качестве факторов, от которых зависит процесс очистки от ионов Cr^{6+} , были приняты следующие: X_1 -исходная концентрация ионов Cr^{6+} в стоках, мг/дм^3 ; X_2 - pH_{исх}; X_3 - скорость фильтрации, м/ч. В качестве выходных учитываемых параметров, приняты: Y_1 -остаточная концентрация ионов Cr^{6+} , мг/дм^3 .

По полученным данным построены графические зависимости эффекта очистки от исследуемых параметров.

Таблица 2.1.1 - Факторы и интервалы варьирования

	+1,68	+1	0	-1	-1,68	Δ
X_1						
$C_{\text{исх}}^{\text{Cr}^{6+}}$, мг/дм^3	110,4	90	60	30	0,6	30
X_2						
pH	4,68	4	3	2	1,32	1
X_3						
V, м/ч	8,36	7	5	3	1,64	2

Результаты исследований по проведению процесса очистки хромстоков путем фильтрации через Fe-стружку в щелочной среде приведены в таблице 2.1.2.

Таблица 2.1.2 - Результаты эксперимента по проведению процесса очистки хромстоков путем фильтрации через Fe-стружку

$C_{\text{исх}}^{\text{Cr}^{6+}}$, мг/дм ³	pH _{исх}	V, м/ч	$C_{\text{ост}}^{\text{Cr}^{6+}}$, мг/дм ³
60	9,5	3	17,73
60	9,5	5	24,5
60	9,5	7	25,18

Полученные данные были обработаны по методу Брандона, позволившему получить нелинейную функцию вида:

$$\hat{y} = kf_1(x_1)f_2(x_2)f_3(x_3), \quad (2.1.1)$$

где $f_k(x_k)$ - зависимость выходного параметра от k-го параметра входа;

k - поправочный коэффициент, численно близкий к среднему значению y - выборки.

После обсчета получено общее соотношение нормализованного значения остаточной концентрации хрома:

$$\hat{y} = 0,038 \cdot (0,0001x^2 + 0,0071x + 0,2242) \cdot (0,1233x - 0,0089x^2 + 0,6058 \cdot (0,321x - 0,03x^2 + 0,382)) \quad (2.1.2)$$

Анализ уравнения показывает, что наибольшее влияние на эффект очистки при фильтрации хромстоков через Fe-стружку оказывает pH и скорость фильтрации. Результаты исследований приведены в таблице 2.1.2.

При фильтрации через стружку хромсодержащих стоков с концентрацией 60 мг/дм³ при pH=9,5 и скоростью 3 м/ч, остаточная концентрация Cr^{6+} составила 22,26 мг/дм³, при повторном пропускании очищенных стоков их концентрация снизилась до 17,5 мг/дм³.

Таким образом, анализ работы сооружений очистки хромстоков путем фильтрации через Fe-стружку показывает, что высокий эффект очистки может быть достигнут только в кислой среде (pH=1,5-2), при скорости фильтрации 3 м/ч, увеличение указанных параметров приводит к ухудшению эффекта очистки.

Матрица планирования эксперимента обработки хромсодержащих стоков гальванокоагуляционным методом приведена в таблице 2.1.3. Число опытов в матрице планирования при K=3 равно 20.

Таблица 2.1.3 - Матрица планирования эксперимента

№ опыта	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₃ ²	Z ₁ C _{исх} ^{Cr+6} , мг/дм ³	Z ₂ рН	Z ₃ υ, м/ч	Y ₁ C _{ост} ^{Cr+6} , мг/дм ³
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	90	4,25	7	3,6
2	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	90	4,0	7	1,37
3	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	90	2,25	7	2,69
4	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	90	4	3	2,19
5	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	30	2	3	0,63
6	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	30	2	7	0,93
7	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	30	4	3	1,18
8	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	90	2	3	1,8
9	-1,68	0	0	0	0	0	+2,82	0	0	110,4	3	5	0,93
10	+1,68	0	0	0	0	0	+2,82	0	0	110,4	3	5	0,39
11	0	-1,68	0	0	0	0	0	+2,82	0	60	1,32	5	0,006
12	0	+1,68	0	0	0	0	0	+2,82	0	60	4,68	5	0,29
13	0	0	-1,68	0	0	0	0	0	+2,82	60	3	1,64	0,0006
14	0	0	+1,68	0	0	0	0	0	+2,82	60	3	8,36	0,012
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	3	5	1,8
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	3	5	2,37
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	3	5	0,0019
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	3	5	0,0006
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	3	5	0,0004
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	9,5	3	0,34

2.2 Расчет экспериментальных данных методом Бокса-Хантера

Экспериментальные данные на первом этапе были обработаны по методу Бокса – Хантера. По данным таблицы рассчитаны коэффициенты уравнений регрессии второго порядка и их ошибки:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + b_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + b_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + b_{11} \cdot X_1^2 + b_{22} \cdot X_2^2 + b_{33} \cdot X_3^2 \quad (2.2.1)$$

Находим коэффициенты для выходного параметра y_1 -остаточная концентрация ионов Cr^{6+} :

$\Sigma X_1 Y_1 = 5,26$	$\Sigma X_1 X_2 Y_1 = 0,31$	$\Sigma X_1^2 Y_1 = 18,12$
$\Sigma X_2 Y_1 = 2,77$	$\Sigma X_1 X_3 Y_1 = 1,81$	$\Sigma X_2^2 Y_1 = 15,23$
$\Sigma X_3 Y_1 = 2,81$	$\Sigma X_2 X_3 Y_1 = 0,41$	$\Sigma X_3^2 Y_1 = 14,43$
$\Sigma Y_1 = 20,53$		

Специфический характер матрицы для ротатабельных планов второго порядка Бокса-Хантера позволяет провести процедуру обращения этой матрицы в общем виде и получить формулы для расчетов коэффициентов уравнения регрессии и их дисперсий. Коэффициенты уравнения регрессии определяем по формуле

$$b_0 = a_1 \sum_{i=1}^N y_i - a_2 \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^N X_{ji}^2 Y_i \quad (2.2.2)$$

Значения констант $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$, входящих в выражение (2.2.2) приведены в таблице 46 [63].

$$b_0 = 0,1663 \cdot 20,53 - 0,0568 \cdot 47,78 = 0,7$$

$$b_j = a_3 \sum_{i=1}^N X_{ji} Y_i \quad (2.2.3)$$

$$b_1 = 0,0732 \cdot 5,26 = 0,38$$

$$b_2 = 0,0732 \cdot 2,77 = 0,2$$

$$b_3 = 0,0732 \cdot 2,81 = 0,21$$

$$b_{uj} = a_4 \sum_{i=1}^N X_{ui} X_{ji} Y_i; u \neq j; j, u = 1, 2, 3. \quad (2.2.4)$$

$$b_{12} = 0,125 \cdot 0,31 = 0,04$$

$$b_{13} = 0,125 \cdot 1,81 = 0,23$$

$$b_{23} = 0,125 \cdot 0,41 = 0,05$$

$$b_{jj} = a_5 \sum_{i=1}^N X_{ji}^2 Y_i + a_6 \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^N X_{ji}^2 - a_7 \sum_{i=1}^N Y_i \quad (2.2.5)$$

$$b_{11} = 0,0625 \cdot 18,12 + 0,0069 \cdot 47,78 - 0,0568 \cdot 20,53 = 0,29$$

$$b_{22} = 0,0625 \cdot 15,23 + 0,0069 \cdot 47,78 - 0,0568 \cdot 20,53 = 0,11$$

$$b_{33} = 0,0625 \cdot 14,43 + 0,0069 \cdot 47,78 - 0,0568 \cdot 20,53 = 0,06$$

При использовании ротатабельных планов второго порядка отпадает необходимость в постановке дополнительных параллельных опытов для оценки дисперсии воспроизводимости. Дисперсию воспроизводимости определяют по опытам в центре плана:

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} \left(Y_u^0 - \bar{Y}^0 \right)^2}{n_0 - 1}; \quad (2.2.6)$$

Квадратичная разность остаточной концентрации Cr^{+6} и его среднего значения определяется по формуле

$$\bar{Y}^0 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} Y_u^0}{n_0} \quad (2.2.7)$$

Таблица 2.2.1 - Определение квадратичной разности остаточной концентрации Cr^{+6} и его среднего значения

Y_0	$\left(Y_0 - \bar{Y} \right)^2$
1,8	1,10250000
2,37	2,62440000
0,0019	0,55965361
0,0006	0,56160036
0,0004	0,56190016
0,34	0,16810000
$\Sigma 4,5129$	$\Sigma 5,5782$

$$\bar{Y}^0 = \frac{4,5129}{6} = 0,7521;$$

$$S_y^2 = \frac{5,5782}{5} = 1,1156; \quad S_y = 1,0562$$

$$S_{b_0}^2 = a_1 \cdot S_y^2 = 0,1663 \cdot 1,1156 = 0,1855; \quad S_{b_0} = 0,4307;$$

$$S_{b_j}^2 = a_3 \cdot S_y^2 = 0,0732 \cdot 1,1156 = 0,0817; \quad S_{b_j} = 0,2858;$$

$$S_{b_{uj}}^2 = a_4 \cdot S_y^2 = 0,125 \cdot 1,1156 = 0,1394; \quad S_{b_{uj}} = 0,3734;$$

$$S_{b_{jj}}^2 = (a_5 + a_6) \cdot S_y^2 = (0,0625 + 0,0069) \cdot 1,1156 = 0,0774; \quad S_{b_{jj}} = 0,2782.$$

Значимость коэффициентов определяем по критерию Стьюдента:

$$t_i = \frac{b_i}{S_{b_i}}; \quad (2.2.8)$$

$$t_0 = \frac{0,7}{0,4307} = 1,62 \quad t_2 = \frac{0,2}{0,2858} = 0,69 \quad t_3 = \frac{0,21}{0,2858} = 0,73$$

$$t_{12} = \frac{0,04}{0,3734} = 0,12 \quad t_{13} = \frac{0,23}{0,3734} = 0,64 \quad t_{23} = \frac{0,05}{0,3734} = 0,13$$

$$t_{11} = \frac{0,29}{0,2782} = 1,04 \quad t_{22} = \frac{0,11}{0,2782} = 0,39 \quad t_{33} = \frac{0,06}{0,2782} = 0,22$$

Табличное значение критерия Стьюдента для уровня значимости $\alpha=0,05$ и числа степеней свободы $f=5$ равно 2,57. Отсеиваем незначимые коэффициенты, для которых t -отношение меньше табличного и получаем уравнение регрессии в безразмерном масштабе, относительно остаточной концентрации Cr^{+6} :

$$Y_1 = 1,62 + 1,33X_1 + 0,69X_2 + 0,73X_3 + 0,12X_1X_2 + 0,64X_1X_3 + 0,13X_2X_3 + \\ + 1,04X_1^2 + 0,39X_2^2 + 0,22X_3^2 \quad (2.2.9)$$

Определяем остаточную дисперсию по формуле

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N-1}, \quad (2.2.10)$$

где l - число значимых факторов в уравнении.

Значения \hat{y}_i , определяемое для каждого опыта подстановкой в уравнение значений переменных согласно матрице планирования, а также y_i и $(y_i - \hat{y}_i)^2$ приведены в таблице 2.2.2.

Таблица 2.2.2 - Значения для расчета остаточной дисперсии

№	y_i	\hat{Y}_i	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
1	3,6	1,420	4,752
2	1,37	0,200	1,369
3	2,69	1,020	2,789
4	2,19	0,540	2,723
5	0,63	-0,160	0,624
6	0,93	-0,200	1,277
7	1,18	0,240	0,884
8	1,8	0,140	2,756
9	0,93	0,179	0,563
10	0,39	1,456	1,137
11	0,006	-0,026	0,001
12	0,29	0,646	0,127
13	0,0006	-0,353	0,125
14	0,012	0,353	0,116
15	1,8	0,000	3,240
16	2,37	0,000	5,617
17	0,0019	0,000	0,000
18	0,0006	0,000	0,000
19	0,0004	0,000	0,000
20	0,34	0,000	0,116
		$\Sigma 28,215$	

$$S_{ост}^2 = \frac{28,215}{20 - 10} = 2,8215; S_{ост} = 1,6797$$

Дисперсия адекватности рассчитывается по формуле

$$S_{адек.}^2 = \frac{S_{ост.} - S_y}{1} \quad (2.2.11)$$

$$S_{адек.}^2 = \frac{1,6797 - 1,0562}{10} = 0,0624; S_{адек.} = 0,2498$$

Число степеней свободы остаточной дисперсии $f_{ост}$ и дисперсии адекватности $f_{ад.}$:

$$f_{ост} = N - 1 \quad (2.2.12)$$

$$f_{ост} = 20 - 10 = 10$$

$$\begin{aligned} f_{адек.} &= f_{ост.} - f_0 \\ f_{адек.} &= 10 - 5 = 5 \end{aligned} \quad (2.2.13)$$

Определяем адекватность уравнений регрессии по критерию Фишера. Находим отклонение F- критерия:

$$F_p = \frac{S_{\text{адек.}}/f_{\text{адек.}}}{S_{\text{ост.}}/f_o} \quad (2.2.14)$$

$$F_p = \frac{0,2498/5}{1,0562/5} = 0,24$$

Табличное значение критерия Фишера при $f_{\text{адек.}}=5$, $f_o=5$ и $j=0,05$ равно $F_T=4,5$ поскольку $F_p < F_T$, то уравнение регрессии адекватно описывает экспериментальные данные:

$$Y_1 = 1,62 + 1,33X_1 + 0,69X_2 + 0,73X_3 + 0,12X_1X_2 + 0,64X_1X_3 + 0,13X_2X_3 + 1,04X_1^2 + 0,39X_2^2 + 0,22X_3^2 \quad (2.2.15)$$

Уравнение регрессии по остаточной концентрации ионов хрома приводим к натуральному виду и затем, изменяя сочетания и значения параметров, определяем графические зависимости:

$$Y_1 = 1,62 + 1,33X_1 + 0,69X_2 + 0,73X_3 + 0,12X_1X_2 + 0,64X_1X_3 + 0,13X_2X_3 + 1,04X_1^2 + 0,39X_2^2 + 0,22X_3^2$$

$$X_i = \frac{Z_i - Z_{oi}}{\Delta Z_i}; \quad (2.2.16)$$

$$X_i X_{(i+1)} = \frac{(Z_i - Z_{oi}) \cdot (Z_{(i+1)} - Z_{o(i+1)})}{\Delta Z_i \cdot \Delta Z_{(i+1)}}; \quad (2.2.17)$$

$$X_i^2 = \frac{(Z_i - Z_{oi})^2}{\Delta Z_i^2}; \quad (2.2.18)$$

где Z_{oi} , $Z_{o(i+1)}$ - "нулевые" значения параметров X_1 , X_2 , X_3 (таблица 2.1.1); ΔZ_i , $\Delta Z_{(i+1)}$ - шаг изменения соответствующего параметра.

Из таблицы 2.1.1 находим:

$$\Delta Z_1=30; \Delta Z_2=1; \Delta Z_3=2;$$

$$Z_{01}=60; Z_{02}=3; Z_{03}=5.$$

$$\begin{aligned}
Y_1 = & 1,62 + 1,33 \frac{(Z_1 - Z_{01})}{\Delta Z_1} + 0,69 \frac{(Z_2 - Z_{02})}{\Delta Z_2} + 0,73 \frac{(Z_3 - Z_{03})}{\Delta Z_3} + \\
& + 0,12 \frac{(Z_1 Z_2 - Z_{01} Z_2 - Z_1 Z_{02} + Z_{01} Z_{02})}{\Delta Z_1 \cdot \Delta Z_2} + 0,64 \frac{(Z_1 Z_3 - Z_{01} Z_3 - Z_1 Z_{03} + Z_{01} Z_{03})}{\Delta Z_1 \cdot \Delta Z_3} + \\
& + 0,13 \frac{(Z_2 Z_3 - Z_{02} Z_3 - Z_2 Z_{03} + Z_{02} Z_{03})}{\Delta Z_2 \cdot \Delta Z_3} + 1,04 \frac{(Z_1^2 - 2Z_1 Z_{01} + Z_{01}^2)}{\Delta Z_1^2} + \\
& + 0,39 \frac{(Z_2^2 - 2Z_2 Z_{02} + Z_{02}^2)}{\Delta Z_2^2} + 0,22 \frac{(Z_3^2 - 2Z_3 Z_{03} + Z_{03}^2)}{\Delta Z_3^2};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Y_1 = & 1,62 + 1,33 \frac{Z_1}{30} - 1,33 \frac{60}{30} + 0,69 \frac{Z_2}{1} - 0,69 \frac{3}{1} + 0,73 \frac{Z_3}{2} - 0,73 \frac{5}{2} + 0,12 \frac{Z_1 Z_2}{30 \cdot 1} - \\
& - 0,12 \frac{60 \cdot Z_2}{30 \cdot 1} - 0,12 \frac{Z_1 \cdot 3}{30 \cdot 1} + 0,12 \frac{60 \cdot 3}{30 \cdot 1} + 0,64 \frac{Z_1 Z_3}{30 \cdot 2} - 0,64 \frac{60 \cdot Z_3}{30 \cdot 2} - 0,64 \frac{Z_1 \cdot 5}{30 \cdot 2} + \\
& + 0,64 \frac{60 \cdot 5}{30 \cdot 2} + 0,13 \frac{Z_2 Z_3}{1 \cdot 2} - 0,13 \frac{3 \cdot Z_3}{1 \cdot 2} - 0,13 \frac{5 \cdot Z_2}{1 \cdot 2} + 0,13 \frac{3 \cdot 5}{1 \cdot 2} + 1,04 \frac{Z_1^2}{30^2} - \\
& - 1,04 \frac{2 \cdot Z_1 \cdot 60}{30^2} + 1,04 \frac{60^2}{30^2} + 0,39 \frac{Z_2^2}{1^2} - 0,39 \frac{2 \cdot Z_2 \cdot 3}{1^2} + 0,39 \frac{3^2}{1^2} + 0,22 \frac{Z_3^2}{2^2} - \\
& - 0,22 \frac{2 \cdot Z_3 \cdot 5}{2^2} + 0,22 \frac{5^2}{2^2};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Y_1 = & 1,62 + 0,044 \cdot Z_1 - 2,66 + 0,69 Z_2 - 2,07 + 0,365 Z_3 - 1,825 + 0,004 \cdot Z_1 Z_2 - \\
& - 0,24 \cdot Z_2 - 0,012 \cdot Z_1 + 0,72 + 0,012 Z_1 Z_3 - 1,28 \cdot Z_1 + 0,72 + 0,011 \cdot Z_1 Z_3 - \\
& - 0,64 \cdot Z_3 - 0,053 \cdot Z_1 + 3,2 + 0,065 Z_2 Z_3 - 0,195 Z_3 - 0,325 Z_2 + 0,975 + \\
& + 0,0012 \cdot Z_1^2 - 0,14 \cdot Z_1 + 4,16 + 0,39 \cdot Z_2^2 - 2,34 Z_2 + 3,51 + 0,055 \cdot Z_3^2 - \\
& - 0,55 Z_3 + 1,375;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Y_1 = & 0,0012 \cdot Z_1^2 + 0,39 \cdot Z_2^2 + 0,055 \cdot Z_3^2 - 0,16 \cdot Z_1 - 2,215 \cdot Z_2 - 1,02 \cdot Z_3 + \\
& + 0,004 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 0,011 \cdot Z_1 \cdot Z_3 + 0,065 \cdot Z_2 \cdot Z_3 + 9,005;
\end{aligned}$$

I. $Z_1=60$

1) $Z_2=2$

$$\begin{aligned}
Y_1 = & 0,0012 \cdot 60^2 + 0,39 \cdot 2^2 + 0,055 \cdot Z_3^2 - 0,16 \cdot 60 - 2,215 \cdot 2 - 1,02 \cdot Z_3 + 0,004 \cdot 60 \cdot 2 + \\
& + 0,011 \cdot 60 \cdot Z_3 + 0,065 \cdot 2 \cdot Z_3 + 9,005 = 0,055 Z_3^2 - 0,23 Z_3 + 1,335;
\end{aligned}$$

Таблица 2.2.3 - Зависимость Y_1 от Z_3 при $Z_1=60$, $Z_2=2$

Z_3	8,36	7	5	3	1,64
Y	3,26	2,42	1,56	1,14	1,11

2) $Z_2=3$

$$Y_1 = 0,0012 \cdot 60^2 + 0,39 \cdot 3^2 + 0,055 \cdot Z_3^2 - 0,16 \cdot 60 - 2,215 \cdot 3 - 1,02 \cdot Z_3 + 0,004 \cdot 60 \cdot 3 + 0,011 \cdot 60 \cdot Z_3 + 0,065 \cdot 3 \cdot Z_3 + 9,005 = 0,055Z_3^2 - 0,165Z_3 + 1,31;$$

Таблица 2.2.4 - Зависимость Y_1 от Z_3 при $Z_1=60$, $Z_2=3$

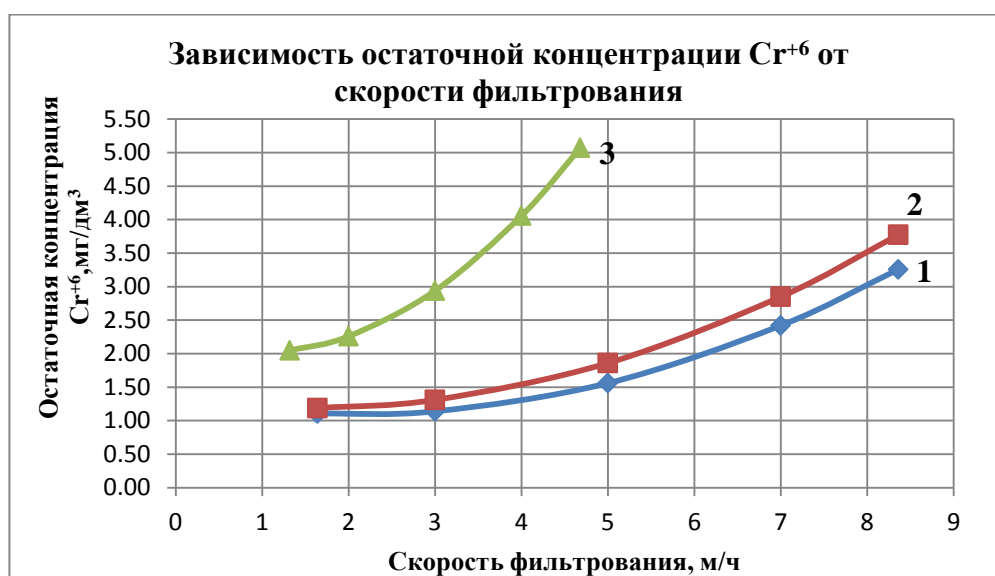
Z_3	8,36	7	5	3	1,64
Y	3,77	2,85	1,86	1,31	1,19

3) $Z_2=4$

$$Y_1 = 0,0012 \cdot 60^2 + 0,39 \cdot 4^2 + 0,055 \cdot Z_3^2 - 0,16 \cdot 60 - 2,215 \cdot 4 - 1,02 \cdot Z_3 + 0,004 \cdot 60 \cdot 4 + 0,011 \cdot 60 \cdot Z_3 + 0,065 \cdot 4 \cdot Z_3 + 9,005 = 0,055Z_3^2 - 0,1Z_3 + 2,065;$$

Таблица 2.2.5 - Зависимость Y_1 от Z_3 при $Z_1=60$, $Z_2=4$

Z_3	8,36	7	5	3	1,64
Y	5,07	4,06	2,94	2,26	2,05



$C_{исх}^{Cr^{6+}} = 60 \text{ мг} / \text{дм}^3$ 1.- pH=2; 2.- pH=3; 3.- pH=4; X_3 – скорость фильтрации, м/ч; Y_1 – остаточная концентрация Cr^{6+} , мг/дм³.

Рисунок 2.2.1 - Зависимость остаточной концентрации Cr^{+6} от скорости фильтрации

В результате построения зависимостей были получены уравнения аппроксимации:

$$1 - y_1 = 0,055 Z_3^2 - 0,23 Z_3 + 1,335;$$

$$2 - y_1 = 0,055 Z_3^2 - 0,165 Z_3 + 1,31;$$

$$3 - y_1 = 0,055 Z_3^2 - 0,1 Z_3 + 2,065;$$

II. $Z_1=60$

1) $Z_3=3$

$$Y = 0,0012 \cdot 60^2 + 0,39 \cdot Z_2^2 + 0,055 \cdot 3^2 - 0,16 \cdot 60 - 2,215 \cdot Z_2 - 1,02 \cdot 3 + 0,004 \cdot 60 \cdot Z_2 + 0,011 \cdot 60 \cdot 3 + 0,065 \cdot Z_2 \cdot 3 + 9,005 = 0,39 \cdot Z_2^2 - 1,78 \cdot Z_2 + 3,14;$$

Таблица 2.2.6 - Зависимость Y_1 от Z_2 при $Z_1=60$, $Z_3=3$

Z_2	4,68	4	3	2	1,32
Y	11,99	10,90	9,95	9,78	10,11

2) $Z_3=5$

$$Y = 0,0012 \cdot 60^2 + 0,39 \cdot Z_2^2 + 0,055 \cdot 5^2 - 0,16 \cdot 60 - 2,215 \cdot Z_2 - 1,02 \cdot 5 + 0,004 \cdot 60 \cdot Z_2 + 0,011 \cdot 60 \cdot 5 + 0,065 \cdot Z_2 \cdot 5 + 9,005 = 0,39 \cdot Z_2^2 - 1,65 \cdot Z_2 + 3,3;$$

Таблица 2.2.7 - Зависимость Y_1 от Z_2 при $Z_1=60$, $Z_3=5$

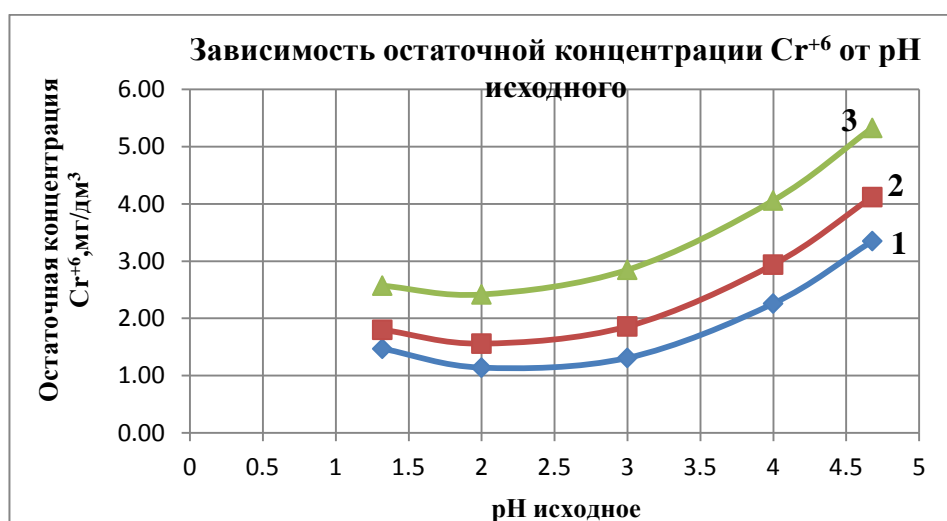
Z_2	4,68	4	3	2	1,32
Y	4,12	2,94	1,86	1,56	1,80

3) $Z_3=7$

$$Y = 0,0012 \cdot 60^2 + 0,39 \cdot Z_2^2 + 0,055 \cdot 7^2 - 0,16 \cdot 60 - 2,215 \cdot Z_2 - 1,02 \cdot 7 + 0,004 \cdot 60 \cdot Z_2 + 0,011 \cdot 60 \cdot 7 + 0,065 \cdot Z_2 \cdot 7 + 9,005 = 0,39 \cdot Z_2^2 - 1,52 \cdot Z_2 + 3,9;$$

Таблица 2.2.8 - Зависимость Y_1 от Z_3 при $Z_1=60$, $Z_2=7$

Z_2	4,68	4	3	2	1,32
Y	5,33	4,06	2,85	2,42	2,57



$C_{исх}^{Cu^{2+}} = 60 \text{ мг} / \text{дм}^3$ 1.- $v=3$ м/ч; 2.- $v=5$ м/ч; 3.- $v=7$ м/ч; X_2 – pH исходное; Y_1 – остаточная концентрация Cr^{+6} , мг/дм³

Рисунок 2.2.2 - Зависимость остаточной концентрации Cr^{+6} от pH исходного

В результате построения зависимостей были получены уравнения аппроксимации:

$$1 - y_1 = 0,39 \cdot Z_2^2 - 1,78 \cdot Z_2 + 3,14;$$

$$2 - y_1 = 0,39 \cdot Z_2^2 - 1,65 \cdot Z_2 + 3,3;$$

$$3 - y_1 = 0,39 \cdot Z_2^2 - 1,52 \cdot Z_2 + 3,9;$$

III. $Z_2=3$

1) $Z_3=3$

$$Y = 0,0012 \cdot Z_1^2 + 0,39 \cdot 3^2 + 0,055 \cdot 3^2 - 0,16 \cdot Z_1 - 2,215 \cdot 3 - 1,02 \cdot 3 + 0,004 \cdot Z_1 \cdot 3 + 0,011 \cdot Z_1 \cdot 3 + 0,065 \cdot 3 \cdot 3 + 9,005 = 0,0012 \cdot Z_1^2 - 0,115 \cdot Z_1 + 3,89;$$

Таблица 2.2.9 - Зависимость Y_1 от Z_1 при $Z_2=3, Z_3=3$

Z_1	110,4	90	60	30	0,6
Y	5,82	3,26	1,31	1,52	3,82

2) $Z_3=5$

$$Y = 0,0012 \cdot Z_1^2 + 0,39 \cdot 3^2 + 0,055 \cdot 5^2 - 0,16 \cdot Z_1 - 2,215 \cdot 3 - 1,02 \cdot 5 + 0,004 \cdot Z_1 \cdot 3 + 0,011 \cdot Z_1 \cdot 5 + 0,065 \cdot 3 \cdot 5 + 9,005 = 0,0012 \cdot Z_1^2 - 0,093 \cdot Z_1 + 3,12;$$

Таблица 2.2.10 - Зависимость Y_1 от Z_1 при $Z_2=3, Z_3=5$

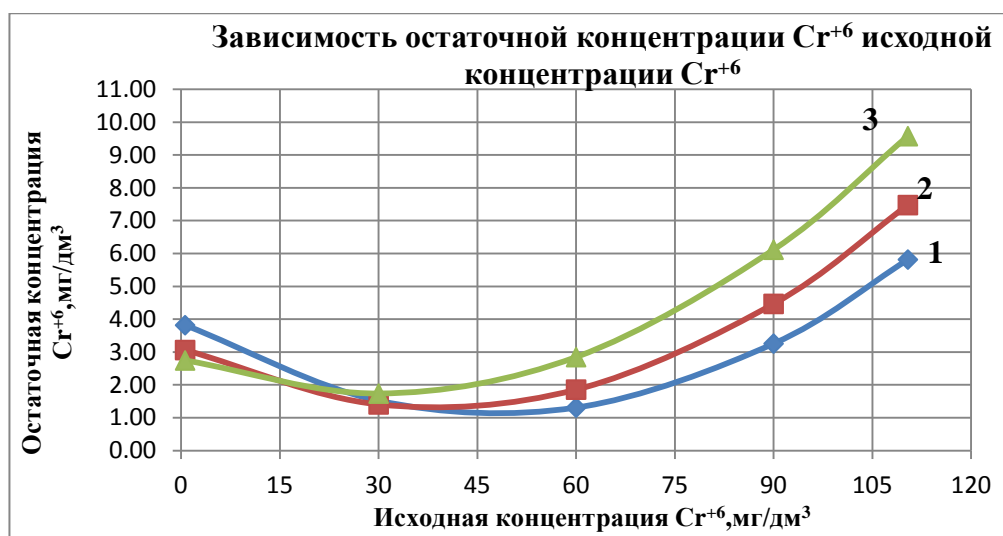
Z_1	110,4	90	60	30	0,6
Y	7,48	4,47	1,86	1,41	3,06

3) $Z_3=7$

$$Y = 0,0012 \cdot Z_1^2 + 0,39 \cdot 3^2 + 0,055 \cdot 7^2 - 0,16 \cdot Z_1 - 2,215 \cdot 3 - 1,02 \cdot 7 + 0,004 \cdot Z_1 \cdot 3 + 0,011 \cdot Z_1 \cdot 7 + 0,065 \cdot 3 \cdot 7 + 9,005 = 0,0012 \cdot Z_1^2 - 0,071 \cdot Z_1 + 2,79;$$

Таблица 2.2.11 - Зависимость Y_1 от Z_1 при $Z_2=3, Z_3=7$

Z_1	110,4	90	60	30	0,6
Y	9,58	6,12	2,85	1,74	2,75



pH=3; 1.-v=3 м/ч; 2.- v=5 м/ч; 3.- v=7 м/ч; X_1 – исходная концентрация Cr^{6+} , мг/дм³; Y_1 – остаточная концентрация Cr^{6+} , мг/дм³

Рисунок 2.2.3 - Зависимость остаточной концентрации Cr^{+6} исходной концентрации Cr^{+6}

В результате построения зависимостей были получены уравнения аппроксимации:

$$1 - y_1 = 0,0012 \cdot Z_1^2 - 0,115 \cdot Z_1 + 3,89;$$

$$2 - y_1 = 0,0012 \cdot Z_1^2 - 0,093 \cdot Z_1 + 3,12;$$

$$3 - y_1 = 0,0012 \cdot Z_1^2 - 0,071 \cdot Z_1 + 2,79;$$

2.3 Исследование свойств осадка при обезвреживании хромосодержащих сточных вод фильтрованием через железную стружку

В результате обезвреживания хромосодержащих сточных вод был получен осадок, который был исследован на такие свойства как: влажность, плотность, удельное сопротивление (таблица 2.3.1).

Таблица 2.3.1 - Определение свойств осадка

Влажность осадка W, %	Плотность осадка ρ , г/см ³	Сухой остаток при 105°C, г/дм ³	Остаток после прокаливании при 900°C, г/дм ³	Потери при прокаливании, г/дм ³	Потери при прокаливании, %	Удельное сопротивление осадка, см/г
99,23	0,942	7,3	1,3	6,00	82,19	$96 \cdot 10^{10}$

Для изучения структуры осадка был проведен рентгенофазовый анализ на дифрактометре ADVANCE-D8, фирма Bruker-AXS (Germany).

На дифрактограмме осадка (рисунок 2.3.1) очень четко просматриваются интенсивные линии характерные для гематита Fe_2O_3 ($d = 2,68; 1,69 \text{ \AA}$) и магнетита Fe_3O_4 $d = 2,51$, а также гипса CaSO_4 ($d = 3,48; 2,85; 2,32 \text{ \AA}$). Линии ($d = 3,58; 2,67; 2,47; 1,81; 1,67 \text{ \AA}$) относятся к Cr_2O_3 , при этом дифракционные максимумы ($d = 2,67; 2,47; 1,67 \text{ \AA}$), относящиеся к Cr_2O_3 перекрываются с линиями гематита Fe_2O_3 .

Удельное сопротивление осадка рассчитывалось по формуле

$$\gamma_0 = \frac{2P \cdot F^2 \cdot b}{\mu \cdot C}, \quad (2.3.1)$$

где γ_0 -удельное сопротивление фильтрации, см/г;

P -давление, при котором происходит фильтрация, г·с/(см·с²);

b -тангенс угла наклона прямой, построенной в координатах t/V и V , с/см (график 2.3.2);

F -площадь фильтра, см²;

μ -вязкость фильтрата, г/(см·с);

C -концентрация осадка, г/см³.

$$\gamma_0 = \frac{2 \cdot 139 \cdot 1747 \cdot 0.195}{0.01 \cdot 0.0391} \cdot 1333,22 = 96 \cdot 10^{10} \text{ см / г}$$

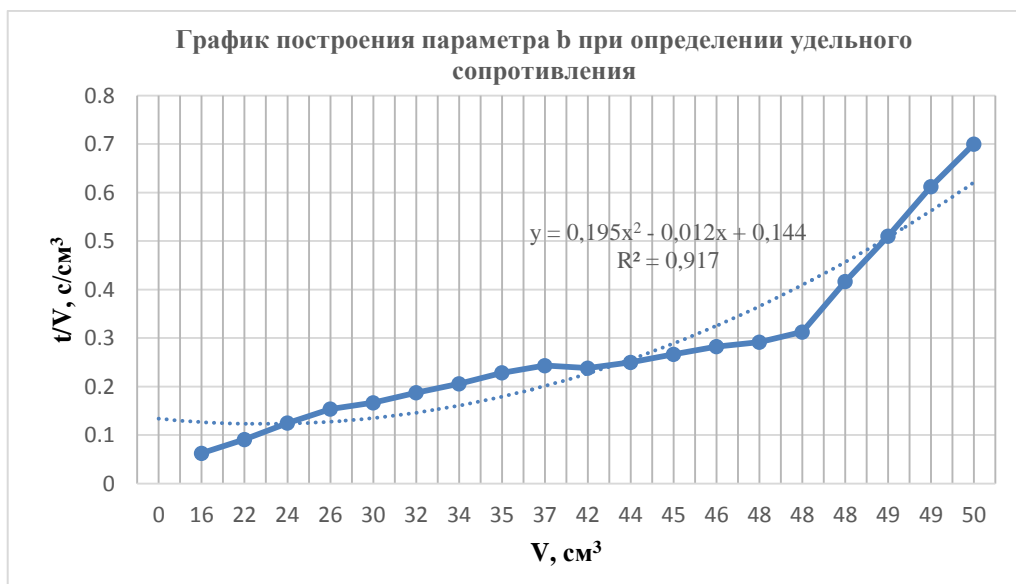


Рисунок 2.3.2 - График построения параметра b при определении удельного сопротивления

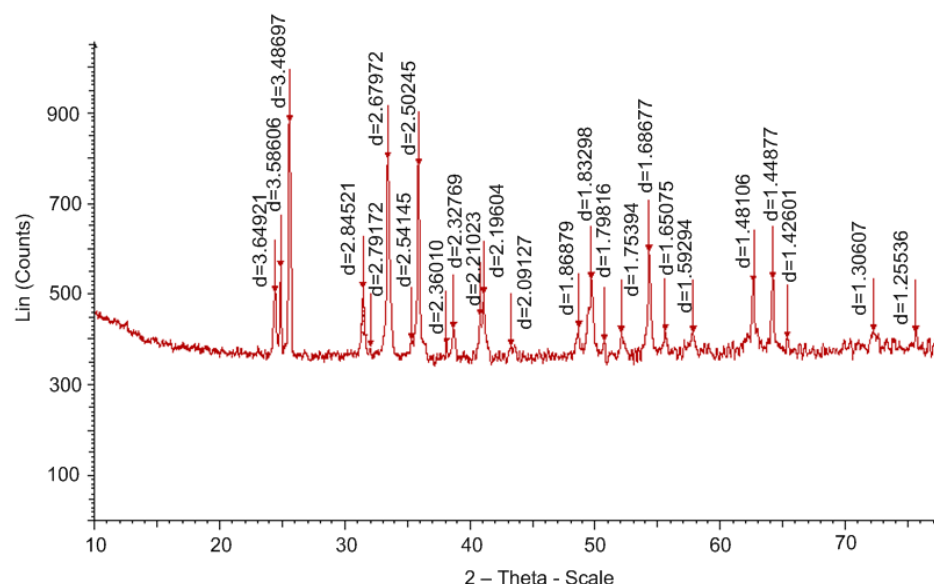


Рисунок 2.3.1 - Дифрактограмма осадка прокаленного при $t = 900^{\circ}\text{C}$

2.4 Обсуждение результатов

Планирование эксперимента при исследовании технологического процесса фильтрования хромсодержащих сточных вод через железную стружку позволило получить математические модели, для выявления значимости факторов и степени их взаимодействия. Уравнение регрессии в безразмерном масштабе - для остаточной концентрации ионов хрома:

$$Y_1 = 1,62 + 1,33X_1 + 0,69X_2 + 0,73X_3 + 0,12X_1X_2 + 0,64X_1X_3 + 0,13X_2X_3 + 1,04X_1^2 + 0,39X_2^2 + 0,22X_3^2 \quad (2.4.1)$$

Анализ уравнения регрессии показал, что эффективность очистки в большей степени зависит от исходной концентрации ионов хрома и скорости фильтрации. Уравнение регрессии в натуральном масштабе имеет вид - для остаточной концентрации ионов хрома:

$$Y_1 = 0,0012 \cdot Z_1^2 + 0,39 \cdot Z_2^2 + 0,055 \cdot Z_3^2 - 0,16 \cdot Z_1 - 2,215 \cdot Z_2 - 1,02 \cdot Z_3 + 0,004 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 0,011 \cdot Z_1 \cdot Z_3 + 0,065 \cdot Z_2 \cdot Z_3 + 9,005; \quad (2.4.2)$$

По уравнению регрессии в натуральном масштабе построены графические зависимости и проведена аппроксимация. На рисунке 2.2.1 представлены зависимости остаточной концентрации хрома от скорости фильтрации, на рисунке 2.2.2 – остаточной концентрации хрома от pH сточной воды, на рисунке 2.2.3 - остаточной концентрации хрома от исходной концентрации ионов хрома. Нелинейный характер зависимостей позволяет определить оптимальные значения режимов обработки ($v=3$ м/ч; $\text{pH}=1,32-2$). Определены свойства и состав осадка (таблица 2.3.1).

Глава 3. Технологический расчет сооружений очистки хромосодержащих сточных вод

3.1 Технологическая схема №1. Электрокоагуляционный метод обезвреживания хромосодержащих стоков

Усреднитель → Фильтр-грязевик → Электрокоагулятор → Вихревая камера реакции → Вертикальный смеситель → Вертикальный отстойник с камерой хлопьеобразования → Скорый фильтр с плавающей загрузкой → Сорбционный фильтр → РЧВ.

В таблице 3.1.1 приведены расчетные расходы сточной жидкости хромосодержащих сточных вод.

Таблица 3.1.1 – Расчетные расходы сточных вод

	$Q_{сут}, \text{м}^3/\text{сут}$	$Q_{час}, \text{м}^3/\text{ч}$	$Q_{сек}, \text{м}^3/\text{с}$
Хромстоки	9	1,125	0,0003

3.1.1 Расчет резервуара-усреднителя с перемешивающим устройством

При необходимости усреднения состава и раствора производственных сточных вод надлежит предусматривать усреднители. Принимая барботажный тип усреднителя с учётом характера колебаний концентрации загрязняющих веществ, а также вида и количества взвешенных веществ. В усреднителях с барботированием при наличии в стоках летучих ядовитых веществ, следует предусматривать перекрытие и вентиляционную систему.

Расчет резервуара-усреднителя представлен в приложении А.

3.1.2 Расчет фильтра-грязевика

Наиболее распространенная разновидность фильтров механической очистки воды – фильтры сетчатые. Они предназначены для улавливания механических примесей и фильтрации рабочей среды. Очистка в сетчатых фильтрах происходит благодаря фильтровальной сетке, вставленной в корпус фильтра (отсюда и название).

Различают следующие фильтры сетчатые (или фильтры сетчатые механической очистки):

- по степени очистки: фильтры грубой очистки (сетка до 300 мкм - микрон) - так называемые грязевики и сетчатые фильтры тонкой очистки (сетка до 5 мкм – микрон).

Для выделения из сточных вод мелкодиспергированных примесей могут применяться фильтры-грязевики, оборудованные сетчатыми элементами.

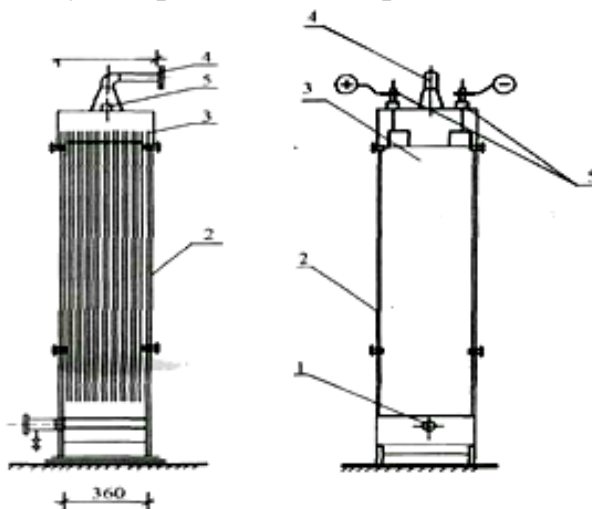
Расчет фильтра-грязевика представлен в приложении Б.

3.1.3 Расчет электрокоагулятора со стальными электродами

Технологический расчет электроаппаратов сводится к определению основных геометрических размеров рабочих камер и всей установки в целом, а также к определению всех эксплуатационных характеристик процесса: общего напряжения и силы тока на отдельных электродных блоках с целью подбора типа выпрямительных устройств; расхода потребляемой электроэнергии; продолжительности эксплуатации растворимых электродных материалов до полной их замены; объема образующихся осадков и флотошлама; необходимой степени вентиляции производственного помещения; количества выделяемой при электролизе теплоты для оценки теплового баланса процесса очистки воды.

Электрокоагуляторы со стальными электродами (рисунок 3.1.3.1) относятся к нестандартному оборудованию. Корпус электрокоагулятора представляет собой прямоугольный резервуар, изготовленный из синтетических кислотостойких материалов (полиизобутилен, полипропилен и др.), или футерованный изнутри этими материалами. Электрокоагулятор оборудуется вытяжным вентиляционным устройством (например, бортовыми отсосами) для удаления газов, образующихся при электролизе сточных вод. Целесообразно, чтобы дно электрокоагулятора имело небольшой уклон (до 5°) в сторону выхода сточных вод.

Расчет электрокоагулятора показан в приложении В.



1- питательный патрубок; 2- съемный корпус; 3- блок электродов; 4- отводящий патрубок; 5-шина для подачи электроэнергии

Рисунок 3.1.3.1 - Устройство электрокоагулятора

3.1.4 Расчет расхода кислоты и щелочи и объёма расходных баков

В результате экспериментальных исследований оптимальная доза кислоты составила $D_k = 400 \text{ мг/дм}^3$.

Выход кислоты на подкисление сточных вод рассчитывают по формуле

$$G_k = \frac{D_k \cdot Q_{\text{ч}}}{1000}, \quad (3.1.4.1)$$

где D_k - оптимальная доза кислоты, мг/дм³;
 $Q_{\text{ч}}$ - часовой расход сточных вод, м³/ч.

$$G_k = \frac{400 \cdot 1,125}{1000} = 0,45 \text{ кг/ч}$$

Суточный расход кислоты составляет:

$$G_k^{\text{сут}} = G_k \cdot 8, \quad (3.1.4.2)$$

где G_k - часовой выход кислоты на подкисление сточных вод, м³/ч.

$$G_k^{\text{сут}} = 0,45 \cdot 8 = 3,6 \text{ кг/сут.}$$

Ёмкость бака – дозатора определяется по формуле

$$V = \frac{G_k \cdot T}{1000 \cdot \gamma_k}, \quad (3.1.4.3)$$

где G_k - часовой выход кислоты на подкисление сточных вод, м³/ч.

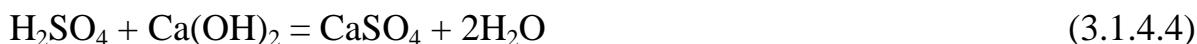
$\gamma_k = 1,84$ - плотность кислоты 98% - ной концентрации, т/м³;

$T = 8$ - время работы в сутки, ч.

$$V = \frac{0,45 \cdot 8}{1000 \cdot 1,84} = 0,0019 \text{ м}^3 \approx 2 \text{ л}$$

Принимаем к установке 2 бака – дозатора по 1л кислоты.

Расчет потребного количества Ca(OH)_2 ведется по молекулярным весам реагирующих веществ:



Молекулярный вес H_2SO_4 составляет $M=98$ г. Молекулярный вес Ca(OH)_2 составляет $M=74$ г.

Для нейтрализации 1т 100% - ной H_2SO_4 потребуется: $\frac{74}{98} = 0,75 \text{ т}$ 100% - ной гидроокиси кальция, тогда для нейтрализации 1т 98% - ной H_2SO_4 потребуется: $\frac{0,75 \cdot 98}{100} = 0,735 \text{ т}$ Ca(OH)_2 , а на 3,6 кг H_2SO_4 потребуется: $0,735 \cdot 3,6 = 2,646 \text{ кг/сут}$ Ca(OH)_2 . Принимаем 2 бака – дозатора по 3 л извести.

3.1.5 Расчет вихревой камеры реакции

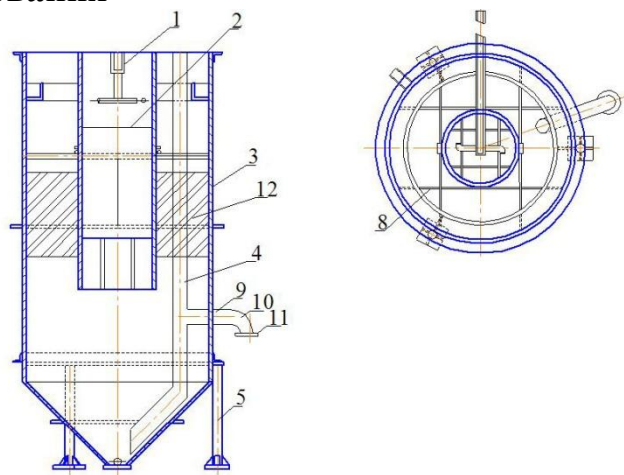
Камеры реакции очистных сооружений предназначены для протекания физико-химических процессов осветления и обесцвечивания воды при обработке ее коагулянтами и образования хлопьев гидроокисей железа.

Формирование и укрупнение хлопьев гидроокисей в спокойной воде протекает относительно медленно. Для получения достаточно крупных хлопьев в количестве 5 – 10 шт. в 1 см³, что отвечает началу осаждения их, обрабатываемую воду в камерах реакции плавно перемешивают, создавая в ней встречные потоки.

В результате взаимных столкновений хлопья гидроокисей укрупняются и в дальнейшем легко отделяются от воды. Интенсивность перемешивания в камерах реакции не должна быть слишком большой, чтобы не вызвать повторного разрушения образовавшихся агрегатов.

Проектируем вихревую камеру реакции. Расчет вихревой камеры реакции представлен в приложении Г.

3.1.6 Расчет вертикального отстойника со встроенной водоворотной камерой хлопьеобразования



1 - Лоток; 2 - Камера хлопьеобразования; 3- Каркас; 4- Трубопровод отвода осадка; 5 - Стойка; 6 - Косынка; 7 - Пластина; 8 - Труба; 9 - Стандартное изделие; 10 - Отвод; 11 - Фланец; 12 - Тонкослойный элемент.

Рисунок 3.1.6.1 – Вертикальный отстойник со встроенной камерой хлопьеобразования

Расчет вертикального отстойника со встроенной камерой хлопьеобразования приведен в приложении Д.

3.1.7 Расчет тонкослойного отстойника

Тонкослойные отстойники применяют для средней и глубокой очистки сточных вод от взвешенных веществ и нефтепродуктов. Процесс осаждения примесей происходит в малом по толщине слое воды внутри тонкослойного

модуля с наклонными элементами. Такая конструкция позволяет быстрее осаждать взвесь, а собранные примеси самотеком сползают по уклону в зону хлопьеобразования и уплотнения осадка.

Конструкция тонкослойного отстойника - круглое сооружение, разделенное внутри на отдельные слои (ярусы) при помощи наклонных параллельных пластин. Отстаивание воды происходит в каждой секции тонкослойного модуля, а наклонные пластины служат для удаления собранного осадка.

Угол наклона пластин тонкослойного модуля во многом влияет на эффективность очистки стоков в отстойнике. Оптимальная величина в пределах 45-60°. При меньшем угле наклона ярусы зашламливаются, и возникает необходимость их часто промывать. При большом угле наклона пластин осадок слишком быстро сползает, что может вызвать нежелательные эффекты.

Тонкослойные элементы или блоки (рисунок 3.1.7.1) могут выполняться из мягких или полужестких полимерных пленок, соединенных в сотовую конструкцию, или из жестких листовых материалов в виде отдельных полок.

Расчет тонкослойного отстойника для сбора и очистки грязной промывной воды представлен в приложении Е.

3.1.8 Расчет дренажной системы отстойника

Для обеспечения наиболее равномерного распределения восходящего потока по всему сечению отстойника назначаем в конструкции отстойника верхнюю дренажную систему высокого сопротивления. Она представляет собой центральный сборный коллектор, снабженный боковыми ответвлениями.

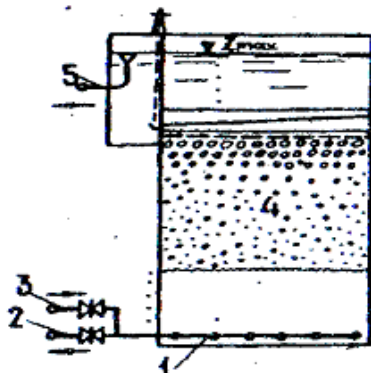
Диаметр коллектора назначаем $d_k = 0,05$ м.

Расчет дренажной системы отстойника представлен в приложении Ж.

3.1.9 Расчет блока фильтров

Для доочистки сточных вод после электрокоагуляционной обработки и тонкослойного отстаивания предусматриваем 2 степени фильтрации.

Первая ступень – блок фильтров с плавающей пенополистирольной загрузкой (рисунок 3.1.9.1). Вторая ступень – блок сорбционных фильтров. По конструкции обе ступени фильтров принимаем аналогичными друг другу.



- 1- нижняя сборно-распределительная система; 2- отвод промывной воды; 3 - трубопровод для подачи сточной воды; 4- пенополистирольная загрузка; 5- отвод фильтрата

Рисунок 3.1.9.1 - Фильтр с плавающей пенополистирольной загрузкой

Первая ступень фильтров загружена плавающей загрузкой, приготавливаемой путем вспенивания гранул полистирола марки ПСВ. Диаметр гранул: 0,8-1,5 мм, толщина загрузки в нерасширенном состоянии: 750мм. Сверху загрузка удерживается металлической сеткой, во избежание выноса, диаметр ячейки: 0,5мм.

Вторая ступень фильтров загружена активированным углем марки БД, полученным на основе бурых углей Берёзовского разреза КАТЭКа. Фракционный состав гранул 0,5-2,8 мм. Для удобства эксплуатации слой загрузки выполнен в виде трехсетчатых кассет высотой 250 мм.

Расчет фильтров приведен в приложении И.

3.1.10 Расчет дренажной системы для отвода промывной воды

Расчет дренажной системы приведен в приложении К.

3.1.11 Расчет шламоуплотнителя

После обработки стоков, осадок из отстойника и других сооружений подается в шламонакопитель, где он может находиться не более 5 суток.

Отношение диаметра шламонакопителя к высоте конической части принимаем $D/H=1,5$; $Q_{\text{ч}}= 0,78$ – часовой расход осадка, $\text{м}^3/\text{ч}$; $n = 5$ – расчетное количество суток; $\beta = 1,5$ – коэффициент для учета объемного использования отстойника; $N = 1$ – количество шламонакопителей; $V_p=0,6$ – расчетная скорость движения осадка, $\text{м}/\text{с}$.

Расчет шламоуплотнителя представлен в приложении Л.

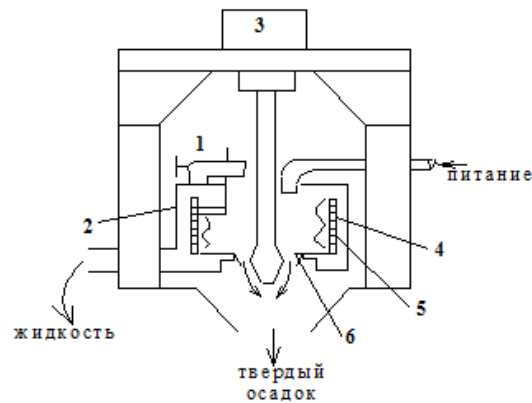
3.1.12 Расчет центрифуги

Для того чтобы иметь возможность утилизировать осадок образующейся в процессе электрокоагуляционной обработки сточных вод, его необходимо предварительно подвергнуть обезвоживанию.

Проектируемый метод обезвоживания осадка – центрифугирование при помощи фильтрующих центрифуг (рисунок 3.2.11.1).

В фильтрующих центрифугах твердая фаза удерживается проницаемой для жидкости стенкой ротора и образует осадок.

Проектируем подвесную фильтрующую центрифугу. Свободно подвешенный ротор устраивается для того, чтобы центрифуга могла самоцентрироваться при не достаточно равномерном распределении осадка.



1 – выгружающий нож; 2 – кожух; 3 – двигатель; 4 – осадок; 5 – перфорированный ротор; 6 – подвижная плита

Рисунок 3.1.11.1 - Центрифуга

Расчет центрифуги приведен в приложении М.

3.1.13 Расчет резервуара чистой воды

Очищенная вода с необходимой и достаточной степенью очистки поступает в резервуар чистой воды (РЧВ) с рабочими уровнями: максимальным – 1,2 м, минимальным – 0,05 м.

Из компоновочных соображений назначаем размеры резервуара: 1,2×1,75×1 м, следовательно, объем резервуара:

$$W_{РЧВ} = 1,2 \cdot 1,75 \cdot 1 = 2,1 \text{ м}^3 \quad (3.1.13.1)$$

Объем РЧВ обеспечивает объем воды для промывки фильтра с плавающей загрузкой (ФПЗ): $Q_{пр} = 0,345 \text{ м}^3$.

Приёмная воронка трубопровода опорожнения РЧВ находится на отметке: $\frac{0,345}{1,75 \times 1} = 0,2 + 0,05 = 0,25 \text{ м}$, считая от дна РЧВ, 0,05 м – высота зоны осаждения.

Время заполнения резервуара после опорожнения:

$$T_3 = \frac{W_{РЧВ}}{Q_ч}, \quad (3.1.13.2)$$

где $W_{РЧВ}$ - объем резервуара, м^3 ;

$Q_ч$ - часовой расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$.

$$T_3 = \frac{2,1}{1,125} = 1,87 \text{ ч}$$

Время заполнения обеспечивает режим промывки фильтров, которая проводится через четыре часа работы.

Отвод очищенной воды из РЧВ осуществляется трубопроводом $d_y = 100 \text{ мм}$, снабженным приемной воронкой $d_y = 200 \text{ мм}$.

Объем резервуара промывной воды: $W_{\text{пр}} = 2,1 \text{ м}^3$.

3.2 Технологическая схема №2. Обезвреживание хромстоков фильтрованием через железную стружку

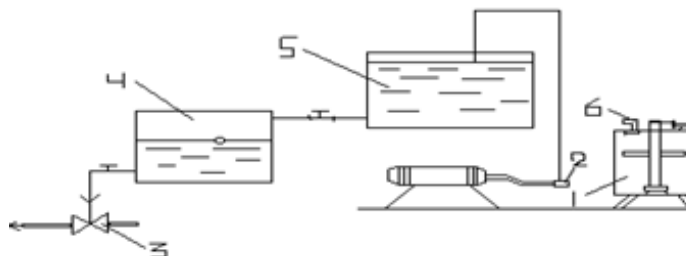
Усреднитель → Фильтр-грязевик → Фильтр, загруженный железной стружкой → Камера реакции → Вертикальный отстойник со встроенной камерой хлопьеобразования → Скорый фильтр с плавающей загрузкой → Сорбционный фильтр → РЧВ.

Расчет конструкционных размеров фильтрационного модуля представлен в приложении Н.

3.3 Технологическая схема №3. Реагентный метод обезвреживания хромсодержащих стоков

Усреднитель → Вертикальный вихревой смеситель → Камера реакции → Вертикальный отстойник с водоворотной камерой хлопьеобразования → Скорый фильтр с плавающей загрузкой → Сорбционный фильтр → РЧВ

3.3.1 Реагентное хозяйство

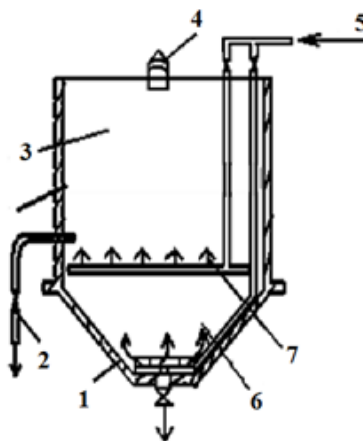


1 - бак с мешалкой на вертикальной оси; 2 - перекачивающий циркулирующий насос; 3 - эжектор; 4 - дозирующее устройство; 5 - бак раствора ПАА; 6 - подача воды

Рисунок 3.3.1.1 - Узел приготовления полиакриламида

Расчет реагентного хозяйства представлен в приложении П.

3.3.2 Бак для растворения коагулянта с подводом сжатого воздуха



1 - ж/б резервуар; 2 - отвод раствора коагулянта; 3 - пуски коагулянта; 4 - подача воды; 5 - подача воздуха; 6,7 – верхняя и нижняя воздухораспределительная система

Рисунок 3.3.2.1 - Бак для растворения коагулянта

Расчет представлен в приложении Р.

3.3.3 Воздуходувки и воздухопроводы

Расчет приведен в приложении С.

3.3.4 Суженый участок для ввода реагентов

Расчет представлен в приложении Т.

3.3.5 Приготовление известкового молока

Емкость бака для приготовления известкового молока:

$$W_u = \frac{q_{\text{час}} \cdot n \cdot D_u}{10000 \cdot b_u \cdot \gamma_u}, \quad (3.3.5.1)$$

где $n = 8$ - время, на которое готовится известковое молоко, ч;

$D_u = 400$ - доза извести, мг/дм³;

$b_u = 5\%$ - концентрация известкового молока;

$\gamma = 1$ - объемный вес известкового молока, т/м³;

$q_{\text{час}}$ - часовой расход сточных вод, м³/ч.

Диаметр бака для известкового молока:

$$D = \sqrt[3]{\frac{W_u \cdot 4}{\pi}}, \quad (3.3.5.2)$$

где $W_{и}$ - емкость бака для приготовления известкового молока, $м^3$.

$$D = \sqrt[3]{\frac{0,072 \cdot 4}{3,14}} = 0,45 м$$

Мощность двигателя мешалки с горизонтальными лопастями:

$$N = 0,004 \cdot \rho \cdot h_{л} \cdot n^3 \cdot d_0^4 \cdot z \cdot \eta \cdot \psi,$$

(3.3.5.3)

где $\rho = 1000$ - удельный вес известкового молока, $кг/м^3$;

$h_{л} = 0,25$ - высота лопасти, м;

$n = 0,67$ - скорость вращения мешалки, $об/с$;

$d_0 = 0,3$ - диаметр окружности, описываемой концом лопасти, м;

$z = 2$ - количество парных лопастей на валу;

$\eta = 0,6$ - КПД передаточного механизма и редуктора;

$\psi = 1,16$ - коэффициент сопротивления, учитывающий увеличение сечения струи жидкости, перемещаемой лопастью мешалки, по сравнению с высотой лопасти. Коэффициент сопротивления ψ зависит от отношения $d_0:h_{л} = 0,3: 0,25 = 1,2$ и принимается по таблице 20 [61].

$$N = 0,004 \cdot 1000 \cdot 0,25 \cdot 0,67^3 \cdot 0,3^4 \cdot 2 \cdot 0,6 \cdot 1,16 = 0,003 кВт \text{ Принимаем } 0,3 кВт.$$

3.3.6 Склады реагентов

Расчет приведен в приложении У.

3.3.7 Дозирование растворов реагентов

Дозирование растворов реагентов (коагулянта, кислоты, щелочи, ПАА) осуществляется с помощью насосов дозаторов. На основании этого необходимо подобрать насос для дозирования растворов реагентов, чаще используют насосы дозаторы типа НД. Достоинство таких насосов состоит в том, что они компактны, обеспечивают возможность дозирования в напорный трубопровод и могут быть легко автоматизированы.

Для дозирования раствора коагулянта и флокулянта принимаем насос марки НД 400/10 мощностью $N=1,5$ кВт и габаритными размерами длиной - 580 мм, шириной - 280 мм, высотой - 571,5 мм; масса агрегата составляет 66,8 кг; количество оборотов 1500 об/мин. Принимаем один рабочий и один резервный насос.

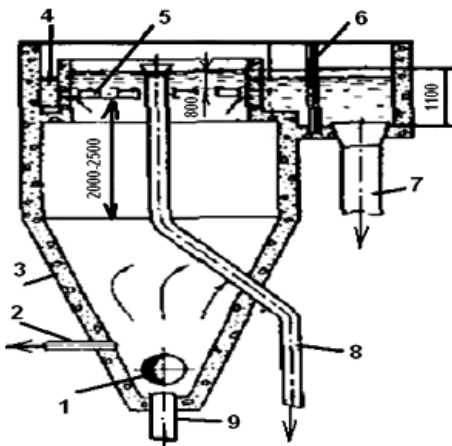
Также необходимо принять насос-дозатор для дозирования раствора кислоты H_2SO_4 , щелочи $Ca(OH)_2$. Принимаем насос марки НД 100/10 один

рабочий и один резервный. Габаритные размеры 472×215×400,5 мм. Масса агрегата составляет 26,3 кг, число оборотов в минуту 1500.

3.3.8 Вертикальный (вихревой) смеситель

Смесители служат для быстрого и равномерного распределения реагентов в обрабатываемой воде, что способствует более быстрому протеканию последующих реакций, происходящих в камерах хлопьеобразования.

Смешение осуществляется в течении 1-2 мин. Проектируем вертикальный (вихревой) смеситель (рисунок 3.3.8.1). Обрабатываемая вода подается по трубе 1 в нижнюю часть со скоростью 1-1,2 м/с. Вода проходит через смеситель и в верхней части перемешивается и поступает в сборный лоток. Из сборного лотка вода поступает в боковой карман. Боковой карман принимается конструктивно с тем, чтобы в нижней его части разместилась труба 2 для отвода воды. В вертикальных смесителях обеспечивается относительно полное растворение частиц извести, т.к. они некоторое время движутся во взвешенном состоянии в турбулентном восходящем потоке воды.



1 - подвод воды; 2 - подвод реагентов; 3 - бетонный корпус; 4 - кольцевой желоб; 5 - затопленные отверстия; 6 - сетка; 7 - отвод воды; 8 - перелив; 9 - трубопровод для опорожнения

Рисунок 3.3.8.1 - Вертикальный вихревой смеситель

Расчет вертикального смесителя приведен в приложении Ф.

3.3.9 Сбор воды периферийным лотком

Расчет представлен в приложении Х.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения ВКР по разработке технологии очистки сточных вод гальванического производства предприятий металлообработки была изучена и проанализированы научно-техническая и патентная информация по данной теме, получена математическая модель, описывающая процесс очистки хромсодержащих сточных вод, для определения оптимальных режимов по величине рН (1,32-2) и скорости фильтрации (не более 3 м/ч).

Выполнен технологический расчет очистных сооружений по следующим методам очистки хромсодержащих сточных вод:

- с использованием электрокоагуляционного метода;
- с применением фильтрации через железную стружку;
- с использованием реагентной очистки.

Применение данных технологических схем очистки хромсодержащих сточных вод позволяет предотвратить годовой ущерб, наносимый сбросом в размере 2595,84 тыс. руб.

Представлен раздел по автоматизации производственного процесса: автоматизация работы двигателей насосов, частотное регулирование, корректировка рН, автоматизация удаления осадка из отстойников и фильтрации воды на фильтрах.

В разделе "Безопасность жизнедеятельности" описаны правила безопасности работы с реагентным хозяйством, дозировкой кислот и щелочей, а также правила обеспечения электробезопасности рабочих.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Экономический анализ систем очистки сточных вод гальванических производств / Научно-технический отчет / Найдено В.В., Губанов Л.Н., Кнохинов Б.И., Романов А.Ф., Зверев Ю.П. Научно – Н.Новгород: Межведомственный инженерный центр “Безотходная технология”, 1993. – 347 с.
- 2 Назаров М.В. Очистка природных и сточных вод с применением электрохимических методов: автореф. кандидат технических наук: 03.00.16 / Назаров Максим Владимирович - Уфа, 2008. - 184 с.
- 3 Волоцков Ф.П. Очистка и использование сточных вод гальванических производств: учебник (Заруб. опыт) . - М.: Стройиздат, 1983. - 104 с., ил. - (охрана окружающей природной среды).
- 4 Штриплинг Л.О. Основы очистки сточных вод и переработки твердых отходов: Учебное пособие / Штриплинг Л.О., Туренко Ф.П.; под ред. Омского государственного технического университета – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 192 с.
- 5 Пат. 2525902 РФ, МПК C02F1/62. Очистка промышленных сточных вод от ионов тяжелых металлов / Н.П. Шапкин; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет" - № 2013111556/05; заявл. 14.03.2013; опубл. 20.08.2014, Бюл. № 23.
- 6 Пат. 2085511 РФ, МПК C02F1/6. Способ очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / Е.Е. Кравцов; заявитель и патентообладатель Кравцов Евгений Евгеньевич - № 93021692/25; заявл. 26.04.1993 публ. : 27.07.1997.
- 7 Lee sing Ki blertroehemical contaminant removal from agulous media (Andco Inc0). Пат. США, кл 204-152 (Co2 с 5/12, B01к 1/00) № 3926754, заявл. 160273, № 332884.
- 8 Hills MR Methodes clectrolytiguss pour letraitement des laux usins. Gerres et laux, 1970, vol 23, № 64.
- 9 Отаке Сигэо, 'Дзяпан фудосайэнсу, Jar Food Sci', 1975, 14, № 7, 58-64.
- 10 Dohpalir K. Wyniri Badan had elertor onyulacia zawiesin W. Wodzie daz Woda technika sanitarna, 1971, 45, № 10, 342-346.
- 11 Богоявленский А.Ф., Гаркави М.И., Афанасьев Г.З. Уч. зап. Казанский гос. ун-та им. В. И. Ульянова-Ленина. Химия, 1953, т.113, кв. 8, 23-26.
- 12 Селицкий Г.А. Способ очистки сточных вод электрокоагуляций. Авт. свид. 242764, C02 с 5/12, Б.И. 1969, № 15
- 13 Селицкий Г. А. Методика расчета технологических параметров электрокоагуляционного способа очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов // НПФ «Эко-проект». – 2009. - №4. - с. 72-78.
- 14 Водное хозяйство промышленных предприятий: книга 1, 2: справочное пособие / В. И. Аксенов., М.Г. Ладыгичев, И.И. Ничкова, В.А. Никулин, С.Э. Кляйн, Е.В. Аксенов – Москва: Теплотехник, 2005, с. 1135.

15 Пат. 2519412 РФ, МПК C02F 1/463, C02F 101/20. Способ очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / Е.Г. Филатова; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Иркутский государственный технический университет" (ФГБОУ ВПО "ИрГТУ") - № 2012158159/05; заявл. 28.12.2012; опубл. 10.06.2014 Бюл. № 16

16 Гнусин Н.П. Влияние некоторых факторов на процесс электрокоагуляции цинксодержащих растворов. Рациональное водопользование и современные методы очистки сточных вод гальванических цехов / Гнусин Н.П., Витульская Н.В., Заболоцкая. - Киев, 1978, 20-21.

17 Применение процесса электрокоагуляции в технологии очистки металлосодержащих промышленных стоков. Электронная обработка материалов / Мамаков А.Ш., Кушнир А.И, Дрония Р.В., Игнатова Д.Ф. - Обнинск: ИАТЭ, 1977, & 4, 25-30.

18 Кобякова Н.И. О возможности электрохимической очистки производственных сточных вод, содержащих одновременно соединения шестивалентного хрома и соли тяжелых металлов / Кобякова Н.И., Генкин В.Е., Жаворонкова В.Н. // Труды института ВОДГЕО. - 1978, вып.71 стр.28.

19 Сучано Идзуру, Хаяси Сабуро "Извлечение тяжелых металлов их сточных вод ферритами", РРМ, 1976, 7, № 2, стр.61-72.

20 Сакураи Хидэ "Электрохимическая очистка сточных вод от тяжелых металлов", РРМ, 1978, 9, № 9, 51-60.

21 Канамори Масару, Кидзикава Мики, Такамидзава Хидэо. "Удаление тяжелых металлов из сточных вод в виде ферритов". Япон.заявка, кл. 13(17), А31, (C01G- 49/00) № 52-124465, заявл. 14.04.76. №51-42113, опубл. 19.10.77.

22 Халтурина Т.И. К вопросу электрохимического обезвреживания хромсодержащих сточных вод / Халтурина Т.И., Чурбакова О.В., Бобрик А.Г., // журнал Вестник ИрГТУ, № 3 , 2014, с. 103-107.

23 Пат. 2453502 РФ, МПК C02F1/46, C02F1/465, C02F101/20 . Способ очистки сточных вод от ионов тяжелых и цветных металлов и устройство для его осуществления / В.И. Ильин; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева" (РХТУ им. Д.И. Менделеева) - № 2010128122/05; заявл. 08.07.2010; опубл. 20.06.2012, Бюл. № 17.

24 Калюжный С.В. Методы очистки сточных вод: учебное пособие / под ред. С.В. Калюжного. – М.: Мир, 2004. - 128 с.

25 Пат. 2268860 РФ, МПК C02F1/465, C02F1/52, C02F103/04 . Способ очистки природных и сточных вод электрофлотацией / В.Ф. Литвинов; заявитель и патентообладатель Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого - № 2004102777/15; заявл. 10.07.2005; опубл. 27.01.2006, Бюл. № 03.

26 Пат. 4567932 СССР, МПК C02c5/12. Способ очистки сточных / Р.И. Остроушко; заявитель и патентообладатель Р.И. Остроушко - № 1272226/23-26(51); заявл. 13.09.1968; опубл. 15.01.1975, Бюл. № 2.

27 Колесников В.А. Безреагентный электрохимический модуль очистки сточных вод гальванических производств: учебное пособие / Колесников В.А., Ильин В.И. - Москва РХТУ.-2004.-с.220.

28 Мазур В.А. Организация современного комплекса: «Гальваническое производство - очистные сооружения», с учетом требований ресурсосбережения и экологической безопасности // Современные решения экологических проблем гальванического производства: всероссийский научно-практический семинар и выставка (Москва, 29-31 октября 2002 г.). - Москва, 2002.-С.-59-62.

29 Пат. 2408542 РФ, МПК C02F 1/463. Способ очистки сточных вод и устройство для его осуществления / Т.И. Халтурина; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирский федеральный университет" - № 2009126118/05; заявл. 07.07.2009 публ. : 10.01.2011 Бюл. № 1.

30 Чернова, О. П. Очистка сточных вод гальванохимическим способом с использованием отходов алюминия / О. П. Чернова, В. А. Игнаткина, О. А. Брагазина // ЭКиП: Экология и промышленность России. - 2010. - № 2. - с. 19-21.

31 Пат. 21304332 РФ, МПК C02F9/00, C02F1/46. Способ очистки промышленных сточных вод, установка и гальванокоагулятор для его осуществления / Ю.В. Островский; заявитель и патентообладатель Новосибирский государственный проектно-изыскательский институт "ВНИПИЭТ" - № 97108753/25; заявл. 22.05.1997 публ. : 20.05.1999.

32 Халтурина Т.И.. Исследования по выбору активной загрузки гальванокоагуляционного модуля для очистки сточных вод, содержащих Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} / Халтурина Т.И., Хакимов Д.Ф., Чурбакова О.В. // журнал Вестник ИрГТУ, №6, 2013, с. 105-111.

33 Халтурина Т.И. Очистка сточных вод гальванического производства от ионов Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} / Халтурина Т.И., Хакимов Д.Ф., Чурбакова О.В., Курилина Т.А. // журнал Известия ВУЗов «Строительство» №1, 2012, с. 77-83.

34 Халтурина Т.И. Гальванокоагуляционное обезвреживание сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов / Халтурина Т.И., Курилина Т.А. // журнал Известия ВУЗов «Строительство» №9, 2009, с. 77-83.

35 Пат. 2480420 РФ, МПК C02F 1/62, B01J 20/26, C02F 101/20. Очистка сточных вод от тяжелых металлов / С.Д. Татаева; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ" - № 2011148256/05; заявл. 25.11.2011; опубл. 27.04.2013 Бюл. № 12.

36 Яковлев С. В. Очистка производственных сточных вод: учебное пособие для студентов вузов / Яковлев С. В., Карелин Я.А., Ласков Ю.М. – М.: Стройиздат, 1979, 320 с.

37 Пат. 2 301 777 РФ, МПК C02F 1/62, C02F 1/66, C02F 101/20, C02F 103/16. Способ очистки сточных вод гальванического производства с использованием ферритизированного гальваношлама / В.А. Мишин; заявитель и патентообладатель Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ" - № 2005137608/15; заявл. 02.12.2005; опубл. 27.06.2007 Бюл. № 18.

38 Пат. 2125972 РФ, МПК C02F 1/62, C02F 1/58. Способ очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / М.В. Зильберман; заявитель и патентообладатель Уральский научно-исследовательский институт региональных экологических проблем (УралНИИ "Экология") - № 94028195/25; заявл. 27.07.1994 публ. 10.02.1999

39 Пат. 2340561 РФ, МПК C02F 1/42, C02F 1/62. Установка для очистки сточных вод от тяжелых металлов ионообменными фильтрами / И.О. Новиков; заявитель и патентообладатель Новиков Игорь Олегович и Новикова Ирина Ивановна - № 2007100146/15; заявл. 20.07.2008; опубл. 10.12.2008 Бюл. № 34.

40 Духин С.С. Электрохимия мембран и обратный осмос / С.С. Духин, М.П. Сидоров, А.Э. Ярошук. – Л.: Химия, 1999, 192 с.

41 Зубакова Л.Б. Синтетические ионообменные материалы / Зубакова Л.Б., Тевлина А.С., Даванков А.Б. - М.: Химия, 1978. 184 с., ил.

42 Черкасов С.В. Обратный осмос. Теория и практика применения / С.В. Черкасов / Мировые водные технологии. – Москва: 2010, 19-26 с.

43 Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация / Ю.И. Дытнерский – М.: Химия, 1998, 352 с., ил.

44 Каграманов Г. Г. Научные основы технологии и применения керамических мембран : диссертация ... доктора технических наук : 05.17.18 / Каграманов Георгий Гайкович. - Москва, 2002. - 403 с.

45 Eisenberg H.L. Perfluorinated Ionomer Membranes. ACS Washington. 1982.- V.180. -P. 15.

46 Тимашев С.Ф. //Докл. АН СССР. - 1985.- Т. 283. - С. 930 - 936.

47 Mouritz K.A., Hopfinger A.J. II J. Modern aspects of electrochem. - 1982. - V.14. - P. 425 - 433.

48 Николаев Н.И. Основные пути развития электрохимических процессов с использованием ионообменных мембран / Николаев Н.И., Курганова Е.В., Чувилева Г.Г. // Хим. промышленность. - 1980. - № 4. - С. 245 - 248.

49 Sarradzin J. Le developpement industriel contemporain des membranes exchangeuses d'iones. Bull, union Phys., 1986. - 80, № 688. - P. 1427 - 1447.

50 Gronovski A.A., Yeager A.L. Factors which affect the permselectivity of Nafion membranes in chlor-alkali electrolysis // J. Electrochem. Soc., 1991.- 138, № 9. - P. 2690 -2697.

51 Гнусин Н.П., Кононенко Н.А., Паршиков С.Б. Электроперенос соли через структурно неоднородные ионообменные мембраны // Там же. - 1993. Т.29, № 6. - С. 757 - 763.

52 Белевцев А.Н. Комплексные схемы очистки сточных вод гальванических производств / А.Н. Белевцев, П.Ф. Кандзас, Л.В. Милованов // Водоснабжение и санитарная техника- Россия, 1984. № 10, 71-79 с.

53 Слипченко А.В. Современные малоизнашивающиеся аноды и перспективы развития электрохимических технологий водообработки / Слипченко А.В., Максимов В.В., Кульский Л.А. // Химия и технология воды. - 1993. - Т. 15, № 3. - С. 180-231.

54 Илляшик Л.П. Непрерывная электрохимическая регенерация отработанного хромсульфатного травильного раствора / Л.П. Илляшик // Тез. докл. научно-техн. конф. Применение прогрессивных методов и оборудования для очистки сточных вод и бессточной технологии в производстве. - Кишинев, 1982. - С. 160-161.

55 Шишкина С.В. Применение ионообменных мембран для электродиализной очистки сточных вод гальванических цехов / С.В. Шишкина // Тез. док. науч.-техн. конф. "Прогрессивные технологии электрохимической обработки металлов и экология гальванического производства". - Волгоград, 1990. - С. 98-99.

56 Кирдун В.А. Применение электродиализа в оборотных системах водоснабжения. В кн.: Замкнутые и оборотные системы водоснабжения / В.А. Кирдун // Сб. науч. трудов ВНИИ ВОДГЕО. - М., 1986. - С. 33-35.

57 Шендрик О.Р. Получение и свойства катионитовых мембран, модифицированных электро-осажденным слоем дисперсного ионита / Шендрик О.Р., Пономарев В.В., Теселкин В.В., Гребенюк В.Д. // Химия и технология воды. - 1985. - 7, № 4. - С. 29-32.

58 Белобаба А.Г., Певницкая М.В. II Изв. СО АН СССР, сер. хим. наук. - 1988. - №1. - С. 113-118.

59 Электронный каталог по подбору водокольцевых компрессоров [электронный ресурс]: ООО "Серво". - Пенза. - Режим доступа: <http://www.servo-s.ru>.

60 Электронный каталог по подбору вихревых насосов [электронный ресурс]: "Агроводком". - Уфа. - Режим доступа: <http://www.agrovodcom.ru>.

61 Кожинов В.Ф. Очистка питьевой и технической воды. Примеры расчета: учебник / В.Ф. Кожинов. - Москва: Стройиздат, 1971. - 304 с.

62 Справочное пособие к СНиП 2.04.03-85 Проектирование сооружений для очистки сточных вод. - Введ. 1990. - Москва: Стройиздат, 1990. - 300 с.

63 Ахназарова С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии: учебное пособие для студентов химико-технологических специальностей вузов. - 2-е издание / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров; перераб. и доп. - Москва: Высшая школа, 1985. -327 с., с ил.

64 Житенев Б.Н. Водоподготовка для студентов специальности 1-70 04 03 - "Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов" дневной и

заочной форм обучения. Часть 1: методические указания к выполнению курсовых проектов и практических занятий / Б.Н. Житенев, Г.А. Волкова, Н.Ю. Сторожук. - Брест: Брестский государственный технический университет, 2009. - 48 с.

65 Электронный каталог по подбору фильтров-грязевиков [электронный ресурс]: ООО "Техмаш". - Екатеринбург. - Режим доступа: <http://www.vagondom.com>.

66 Попкович Г.С. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения: учебник для вузов / Г.С. Попкович, М.А. Гордеев. - Москва: Высшая школа, 1986. - 392 с., ил.

67 Инструкция по эксплуатации очистных сооружений нефтебаз, наливных пунктов, перекачивающих и автозаправочных станций [электронный ресурс]: разраб. Центральной научно - исследовательской лабораторией Госкомнефтепродукта РСФСР. - Астрахань. - 1988. - Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru>.

68 Грудинов Ю.М. Энергосберегающее регулирование производительности насосов: Методические указания к расчетно-графической работе для студентов специальности 290800- "Водоснабжение и водоотведение" / Ю.М. Грудинов. - Красноярск: КрасГАСА, 2001. - 32 с.

69 Краснокутская О.Н. Хром в объектах окружающей среды / О.Н. Краснокутская, М.А. Кузьмич, Л.П. Выродова. - Агрохимия. – 1990. – № 2. – с. 128–140.

70 Укыбасова Т.М. Особенности действия соединений хрома на систему мать-плацента-плод//Материалы V съезда акушеров-гинекологов Казахстана / Т.М. Укыбасова. - Алматы. - 1996. - 138-140 с.

71 Охрана труда - Информационный ресурс [электронный ресурс]: режим доступа: <http://ohrana-bgd.ru>.

72 СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. – Введ. 22.06.2000 г. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России.

73 ГН 2.15.1315 - 03 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Введ. 27.04.2007 г. – М: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации.

74 Приймак Л. В. Эколого-экономические проблемы систем водоснабжения и водоотведения. Эколого-экономическая оценка воздействия на водные объекты: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост.: Л. В. Приймак, О. Г. Дубровская, И. В. Андруняк. – Электрон.дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. – 38 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Расчет резервуара-усреднителя с перемешивающим устройством

Средняя концентрация загрязнений в стоках определяется по формуле

$$C_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^t Q_{ci} \cdot C_i}{t \cdot Q_x}, \quad (A.1)$$

где C - концентрация загрязнений, мг/дм³;
 Q_{ci} - часовой расход сточной воды, м³/ч;
 t - время работы сооружения, ч.

$$C_{cp} = \frac{1,125 \cdot (10 + 30 + 90 + 2 \cdot 150 + 70 + 40 + 10)}{8 \cdot 1,125} = 68,75 \text{ мг / дм}^3$$

Неравномерность поступления хромсодержащих сточных вод показана на рисунке А.1.

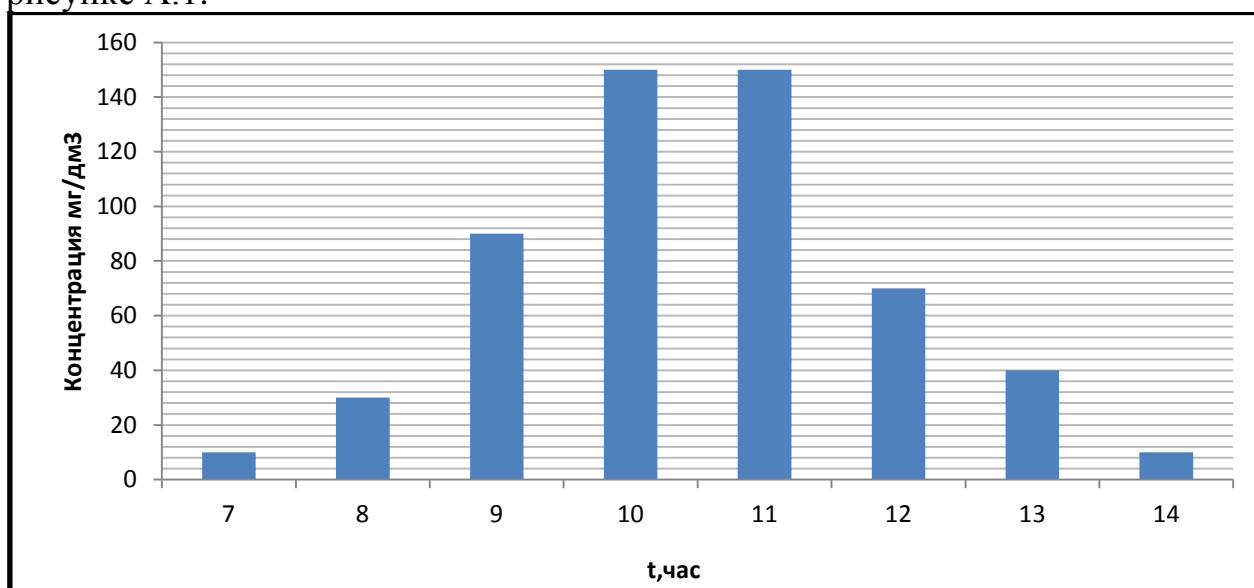


Рисунок А.1 – Часовая неравномерность поступления хромсодержащих сточных вод

Коэффициент усреднения:

$$k = \frac{C_{max} - C_{cp}}{C_{доп} - C_{cp}}, \quad (A.2)$$

где $C_{доп} = 95$ мг/дм³ – концентрация допустимая по условиям работы последующих сооружений;

C_{\max} - максимальная концентрация загрязнений сточных вод, поступающих на очистку, мг/дм³;

$C_{\text{ср}}$ - средняя концентрация загрязнений в стоках, мг/дм³.

$$k = \frac{150 - 68,75}{95 - 68,75} = 3,1$$

При $k < 5$. Объём усреднителя при циклических колебаниях концентраций рассчитывается по формуле

$$W = 0,21 \cdot Q_{\text{ч}} \cdot t \sqrt{k^2 - 1}, \quad (\text{A.3})$$

где $Q_{\text{ч}}$ - часовой расход сточных вод, м³/ч;

t - время работы сооружений, ч;

k - коэффициент усреднения сточных вод.

$$W = 0,21 \cdot 1,125 \cdot 8 \cdot \sqrt{3,1^2 - 1} = 5,5 \text{ м}^3$$

Проектируем усреднитель глубиной $H=1$ м и шириной $B=2$ м.

Длина усреднителя определяется по формуле

$$L = \frac{W}{B \cdot H}, \quad (\text{A.4})$$

где W - объём усреднителя при циклических колебаниях концентраций, м³;

B - ширина усреднителя, м;

H - глубина усреднителя, м.

$$L = \frac{5,5}{2 \cdot 1} = 2,7 \text{ м}$$

Интенсивность барботирования для предотвращения выпадения в осадок взвеси в промежуточных барботёрах составляет $q = 24 \text{ м}^3 / \text{ч} \cdot \text{м}$.

Длина барботёра рассчитывается по формуле

$$l_{\text{б}} = L - 0,2, \quad (\text{A.5})$$

где L - длина усреднителя, м.

$$l_{\text{б}} = 2,7 - 0,2 = 2,5 \text{ м}$$

Общий расход воздуха:

$$Q = l_{\text{б}} \cdot q, \quad (\text{A.6})$$

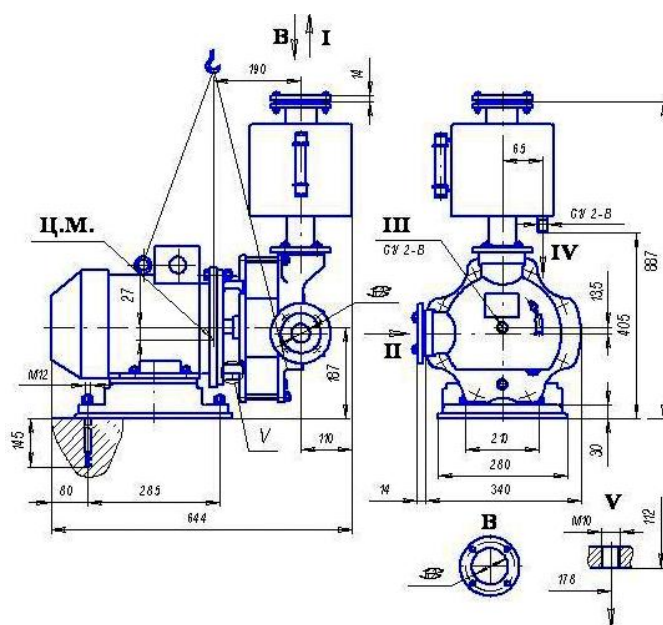
где l_6 - длина барботера, м;

q - интенсивность барботирования, $\text{м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}$.

$$Q = 2,5 \cdot 24 = 60 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Принимаем [59] одну рабочую и одну резервную воздуховку ВК-1,5М1 со следующими характеристиками: частота вращения 1500 об/мин; мощность электродвигателя 5,5 кВт, давление нагнетания 150 кПа, масса агрегата 135 кг. Размеры агрегата (с воздухохраником), мм: длина 644 мм; ширина 354 мм; высота 900 мм.

Схема воздуховуки изображена на рисунке А.2.

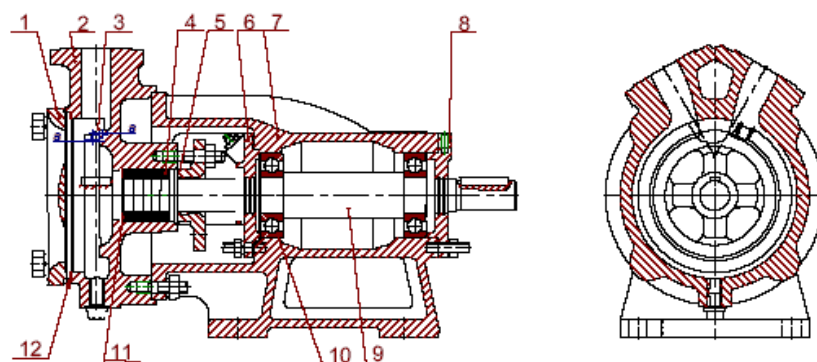


I - нагнетание; II - всасывание; III - подвод воды; IV - отвод воды; V - слив воды из сальника; размер 178 дан от оси водоотделителя; размер 112 дан от оси машины; Ц.М. - центр масс

Рисунок А.2 - Воздуховука ВК-1,5М1

Для подачи воды от усреднителя далее по схеме, принимаем насос ВК 1/16А [60] со следующими характеристиками (1 рабочий и 1 резервный): подача 1,1 - 3,6 $\text{м}^3/\text{ч}$, напор 16 м, частота вращения 1450 об/мин, потребляемая мощность 1,2 кВт, допускаемый кавитационный запас составляет 4 м. Габариты насоса - 413×186×250. Габариты агрегата 755×315×332 мм. Масса насоса 26,3 кг. Масса агрегата 58 кг. Также этот насос принимаем для перекачки очищенной сточной жидкости от резервуара грязной промывной воды в усреднитель и подачи очищенной сточной воды в оборотный цикл производственного цеха.

Схема насоса изображена на рисунке А.3.



1 - крышка, 2 - корпус, 3 - колесо рабочее, 4 - набивка сальника. 5 - втулка сальника, 6 - фланец втулки сальника, 7 - крышка подшипника, 8 - опорный кронштейн, 9 - крышка подшипника, 10 - вал, 11 - подшипник, 12 - кольцо сальника

Рисунок А.3 - Насос марки ВК 1/16А

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Расчет фильтра-грязефика

Рабочую площадь сеток находят по формуле

$$F_c = \frac{Q_u \cdot k_1}{T \cdot k_2 \cdot v_c}, \quad (\text{Б.1})$$

где Q_u – часовая производительность очистной станции, м³/ч;

k_1 – коэффициент учитывающий увеличение производительности сетчатого фильтра за счет очистки промывной воды;

v_c – скорость движения воды в сетке, м/ч;

k_2 – коэффициент учитывающий площадь фильтрующей поверхности;

T – время работы сооружения, ч.

$$F_c = \frac{1,125 \cdot 1,03}{8 \cdot 0,55 \cdot 5} = 0,05 \text{ м}^2$$

Концентрация взвешенных веществ после фильтра-грязефика определяется по формуле

$$C_{взв} = C_{исх} \cdot 0,8, \quad (\text{Б.2})$$

где $C_{исх}$ – исходная мутность, мг/дм³.

$$C_{взв} = 50 \cdot 0,8 = 40 \text{ мг} / \text{дм}^3$$

По расходу сточных вод подбираем диаметр трубопровода 50 мм . На основе этого подбираем фильтр-грязефик V821-050 с ДУ 50 мм [65].

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Расчет электрокоагулятора со стальными электродами

Величина тока, обеспечивающая растворение железа рассчитывается по формуле

$$J = q_n \cdot C_{en} \cdot q_{сеч}, \quad (B.1)$$

где $q_n = 1,125$ - производительность аппарата, м³/ч;
 $C_{en} = 95$ - исходная концентрация Cr^{6+} , мг/дм³;
 $q_{сеч} = 3,1$ - удельный расход электричества, А·ч/г.

$$J = 1,125 \cdot 95 \cdot 3,1 = 226,7 \text{ A}$$

Рабочая поверхность анодов определяется из условия оптимальной плотности тока:

$$f_{pl} = \frac{J}{i_{an}}, \quad (B.2)$$

где $i_{an} = 60$ - анодная плотность тока, по экспериментальным данным, А/м²;
 J - величина тока, обеспечивающая растворение железа, А.

$$f_{pl} = \frac{J}{i_{an}} = \frac{226,7}{60} = 3,8 \text{ м}^2$$

Принимаются размеры пластин электрода в соответствии с конструкцией электролизера 0,2×0,85 м.

Поверхность одного анода определяется по формуле

$$f'_{pl} = b_{pl} \cdot h_{pl} \cdot 2 \quad (B.3)$$

где b_{pl} - ширина пластины электрода, м;
 h_{pl} - высота пластины электрода, м.

$$f'_{pl} = 0,2 \cdot 0,85 \cdot 2 = 0,34 \text{ м}^2$$

Необходимая толщина анодов с учетом их износа рассчитывается по формуле

$$\delta = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot D_{\text{Fe}^{3+}} \cdot n_{\text{сут}}}{0,4 \cdot \gamma \cdot f_{\text{пл}} \cdot 10^6}, \quad (\text{B.4})$$

где $Q_{\text{сут}}$ - суточный расход сточных вод, м³сут;

$D_{\text{Fe}^{3+}}$ - расход железа исходя из экспериментальных данных равный 190 мг/дм³;

$n_{\text{сут}}$ - количество суток, на которое рассчитана работа электродов равная 20 сут.;

$\gamma = 7,86 \text{ т} / \text{м}^3$ - удельный вес стали марки Ст-3.

$$\delta = \frac{9 \cdot 190 \cdot 20}{0,4 \cdot 7,86 \cdot 3,8 \cdot 10^6} = 0,0029 \text{ м}$$

Принимаем материал электродов - листовая сталь толщиной 3 мм.

Общее количество анодов рассчитывается по формуле

$$n_a = \frac{f_{\text{пл}}}{f_{\text{пл}}^1}, \quad (\text{B.5})$$

где $f_{\text{пл}}$ - общая рабочая поверхность анодов, м²;

$f_{\text{пл}}^1$ - поверхность одного анода, м².

$$n_a = \frac{3,8}{0,34} = 12 \text{ шт.}$$

Общее количество электродов:

$$n_{\text{эл}} = 2 \cdot n_a + 1, \quad (\text{B.6})$$

где n_a - общее количество анодов, шт.

$$n_{\text{эл}} = 2 \cdot 12 + 1 = 25 \text{ шт.}$$

Количество аппаратов рассчитывается по формуле

$$n_{\text{анн}} = \frac{n_{\text{эл}}}{13}, \quad (\text{B.7})$$

где $n_{\text{эл}}$ - общее количество электродов, шт.

$$n_{\text{анн}} = \frac{25}{13} = 2 \text{ шт. и один резервный.}$$

В аппарате в соответствии с конструкцией, общее количество электродов составляет 13, из них 6 анодов и 7 катодов.

Ширина электролизера:

$$B = b + 2a,$$

(B.8)

где $a = 0,01$ - расстояние между электродами и корпусом электролизера, м;

$b = 0,2$ - ширина электрода, м.

$$B = 0,2 + 2 \cdot 0,01 = 0,22 \text{ м}$$

Длина электролизера:

$$L = n \cdot \delta + (n - 1) \cdot l + 2a, \quad (\text{B.9})$$

где n - количество электродов, шт.;

δ - толщина пластины, м;

$l = 0,015$ - расстояние между электродами, м;

$a = 0,01$ - расстояние между электродами и корпусом электролизера, м.

$$L = 13 \cdot 0,003 + (13 - 1) \cdot 0,015 + 2 \cdot 0,01 = 0,24 \text{ м}$$

Высота электролизера:

$$H = h_{\text{эл}} + a_1 + a_2, \quad (\text{B.10})$$

где $a_1 = 0,15$ - расстояние от электрода до дна, м;

$a_2 = 0,25$ - расстояние от верха электролизера до поверхности воды, м;

$h_{\text{эл}} = 0,85$ - высота электрода, м.

$$H = 0,85 + 0,15 + 0,25 = 1,25 \text{ м}$$

Строительная высота электролизера:

$$H_{\text{стр}} = H + 0,175, \quad (\text{B.11})$$

где H - высота электролизера, м.

$$H_{\text{стр}} = 1,25 + 0,175 = 1,425 \text{ м}$$

Объем воды в электролизере:

$$W = W_{\text{г}} - W_{\text{эл}}, \quad (\text{B.12})$$

где $W_{\text{в}}$ - объем электролизера, м^3 ;

$W_{\text{эл}}$ - общий объем электродов в корпусе электролизера, м^3 .

Время пребывания воды в электролизере:

$$t = \frac{W}{Q_{\text{ч}}}, \quad (\text{B.13})$$

где W - объем воды в электролизере, м^3 ;

$Q_{\text{ч}}$ - часовой расход сточной воды, $\text{м}^3/\text{ч}$.

$$t = \frac{0,059}{1,125} = 0,05 \text{ ч}$$

Расход железа:

$$Q_{\text{Fe}} = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot C_{\text{еп}} \cdot q_{\text{Fe}}}{1000 \cdot K_{\text{ек}}}, \quad (\text{B.14})$$

где $Q_{\text{сут}}$ - суточный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{сут}$;

$C_{\text{еп}}$ - концентрация допустимая по условиям работы последующих сооружений, $\text{мг}/\text{дм}^3$;

$K_{\text{ек}}$ - коэффициент использования материала электродов;

q_{Fe} - удельный расход металлического железа, $\text{г}/\text{м}^3$.

$$Q_{\text{Fe}} = \frac{9 \cdot 65 \cdot 2}{1000 \cdot 0,8} = 1,46 \text{ кг} / \text{сут}$$

Удельный расход электроэнергии:

$$E = \frac{J \cdot U}{Q_{\text{ч}}}, \quad (\text{B.15})$$

где $U = 24 \text{ В}$ - напряжение на клеммах электролизера;

J - сил тока, обеспечивающая растворение железа, А ;

$Q_{\text{ч}}$ - часовой расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$.

$$E = \frac{226,7 \cdot 24}{1,125} = 4836,3 \frac{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Расчет вихревой камеры реакции

Объем камеры рассчитываем по формуле

$$W_{\text{кх}} = \frac{Q_{\text{час}} \cdot t}{60}, \quad (\text{Г.1})$$

где $t = 1,5$ - продолжительность смешивания, мин;

$Q_{\text{час}}$ - часовой расход сточных вод, м³/ч.

$$W_{\text{кх}} = \frac{1,125 \cdot 1,5}{60} = 0,028 \text{ м}^3$$

При скорости восходящего движения воды в верхней части камеры $V_{\text{в}} = 90 - 100 \text{ м/ч}$, площадь поперечного сечения верхней части камеры:

$$f_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{час}}}{V_{\text{в}}}, \quad (\text{Г.2})$$

где $Q_{\text{час}}$ - часовой расход сточных вод, м³/ч;

$V_{\text{в}}$ - скорость восходящего движения воды в верхней части камеры, м/ч.

$$f_{\text{в}} = \frac{1,125}{90} = 0,0125 \text{ м}^2$$

Диаметр верхней части камеры:

$$D_{\text{в}} = \sqrt{\frac{4 \cdot f_{\text{в}}}{\pi}}, \quad (\text{Г.3})$$

где $f_{\text{в}}$ - площадь поперечного сечения верхней части камеры, м².

$$D_{\text{в}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0125}{3,14}} = 0,13 \text{ м}$$

Принимаем диаметр верней части камеры 150 мм.

При скорости ввода воды $V_{\text{вх}} = 0,7 - 1,2 \text{ м/с}$, диаметр подводящего трубопровода определяют по формуле

$$d_{\text{н}} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{сек}}}{\pi \cdot V_{\text{н}}}}, \quad (\text{Г.4})$$

где $q_{\text{сек}}$ - секундный расход сточной воды, $\text{м}^3/\text{с}$;
 $V_{\text{н}}$ - скорость ввода воды, $\text{м}/\text{с}$.

$$d_{\text{н}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0003}{3,14 \cdot 1,2}} = 0,018 \text{ м} \approx 0,02 \text{ м}$$

Площадь поперечного сечения нижней части:

$$f_{\text{н}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{н}}^2}{4}, \quad (\text{Г.5})$$

где $d_{\text{н}}$ - диаметр нижней части камеры, м .

$$f_{\text{н}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{н}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,02^2}{4} = 0,00032 \text{ м}^2$$

Принимаем диаметр подающего трубопровода $d = 20 \text{ мм}$. Высота конической части камеры при угле конусности $\beta = 45^\circ$:

$$h_{\text{кон}} = 0,5 \cdot (D_{\text{в}} - d_{\text{н}}) \cdot \text{ctg} \frac{\beta}{2}, \quad (\text{Г.6})$$

где $D_{\text{в}}$ - диаметр верхней части камеры, м ;
 $d_{\text{н}}$ - диаметр нижней части камеры, м ;
 β - угол конусности.

$$h_{\text{кон}} = 0,5 \cdot (0,15 - 0,02) \cdot \text{ctg} \frac{45}{2} = 0,14 \text{ м}$$

Объём конической части камеры рассчитывают по формуле

$$W_{\text{кон}} = \frac{1}{3} h_{\text{кон}} (f_{\text{в}} + f_{\text{н}} + \sqrt{f_{\text{в}} \cdot f_{\text{н}}}), \quad (\text{Г.7})$$

где $h_{\text{кон}}$ - высота конической части камеры, м ;
 $f_{\text{в}}$ - площадь поперечного сечения верхней части камеры, м^2 ;
 $f_{\text{н}}$ - площадь поперечного сечения нижней части камеры, м^2 .

$$W_{\text{кон}} = \frac{1}{3} \cdot 0,14 \cdot (0,0125 + 0,00032 + \sqrt{0,0125 \cdot 0,00032}) = 0,0007 \text{ м}^3$$

Объём цилиндрической подставки под конусом:

$$W_{\text{цил}} = W_{\text{кх}} - W_{\text{кон}}, \quad (\text{Г.8})$$

где $W_{\text{кх}}$ - полный объем камеры, м^3 ;
 $W_{\text{кон}}$ - объём конической части камеры, м^3 .

$$W_{\text{цил}} = 0,028 - 0,0007 = 0,0273 \text{ м}^3$$

При площади сечения $f_{\text{с}} = 0,0125 \text{ м}^2$ высота цилиндрической подставки:

$$h_{\text{цил}} = \frac{W_{\text{цил}}}{f_{\text{с}}}, \quad (\text{Г.9})$$

где $W_{\text{цил}}$ - объём цилиндрической подставки под конусом, м^3 ;
 $f_{\text{в}}$ - площадь поперечного сечения верхней части камеры, м^2 .

$$h_{\text{цил}} = \frac{0,0273}{0,0125} = 2,2 \text{ м}$$

Полная высота камеры реакции:

$$h = h_{\text{кон}} + h_{\text{цил}}, \quad (\text{Г.10})$$

где $h_{\text{цил}}$ - высота цилиндрической части, м;
 $h_{\text{кон}}$ - высота конической части камеры, м.

$$h = 0,14 + 2,2 = 2,34 \text{ м}$$

Вода, прошедшая камеру, собирается верхним кольцевым желобом через затопленные отверстия, размещенные по периметру его внутренней стенки. Площадь поперечного сечения:

$$f_{\text{жс}} = \frac{q_{\text{сек}}}{n \cdot V_{\text{жс}}}, \quad (\text{Г.11})$$

где $V_{\text{жс}} = 0,1$ - скорость движения воды в желобе, м/с;
 $q_{\text{сек}}$ - секундный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{с}$;
 n - количество сборных лотков, шт.

$$f_{\text{жс}} = \frac{0,0003}{2 \cdot 0,1} = 0,0015 \text{ м}^2$$

Принимаем ширину желоба $b_{\text{жс}} = 0,03 \text{ м}$. Высота желоба:

$$h_{\text{жс}} = \frac{f_{\text{жс}}}{b_{\text{жс}}}, \quad (\text{Г.12})$$

где $f_{ж}$ - площадь поперечного сечения желоба, m^2 ;
 $b_{ж}$ - ширина желоба, м.

$$h_{ж} = \frac{0,0015}{0,03} = 0,05 \text{ м}$$

Потребное количество затопленных отверстий диаметром 10 мм и площадью $f_0 = 0,0000785 \text{ м}^2$ рассчитывается по формуле

$$n_0 = \frac{q_{сек}}{V \cdot f_0}, \quad (\text{Г.13})$$

где $q_{сек}$ - секундный расход сточных вод, m^3/c ;
 f_0 - площадь затопленных отверстий, m^2 ;
 V - скорость движения воды в трубопроводе, м/с.

$$n_0 = \frac{0,0003}{0,1 \cdot 0,0000785} = 39 \text{ отверстий.}$$

Периметр кольцевого желоба по внутренней стенке:

$$P = \pi \cdot (D_{\varepsilon} - 2b_{л} - 2\delta), \quad (\text{Г.15})$$

где D_{ε} - диаметр верхней части камеры, м;
 $b_{л}$ - ширина лотка, м;
 δ - толщина стенки желоба, 0,06 м. [64]

$$P = 3,14 \cdot (0,15 - 2 \cdot 0,03 - 2 \cdot 0,06) = 0,1 \text{ м}$$

Шаг оси отверстий рассчитывают по формуле

$$l_0 = \frac{P}{n_0}, \quad (\text{Г.16})$$

где P - периметр кольцевого желоба по внутренней стенке, м;
 n_0 - потребное количество затопленных отверстий, шт.

$$l_0 = \frac{0,1}{39} = 0,0025 \text{ м}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Расчет вертикального отстойника со встроенной водоворотной камерой хлопьеобразования

Площадь зоны осаждения одного отстойника:

$$F = \frac{\beta \cdot Q_{\text{час}}}{3,6 \cdot V_p \cdot N}, \quad (\text{Д.1})$$

где $\beta = 1,5$ - коэффициент объёмного использования;

$Q_{\text{ч}}$ - часовой расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$V_p = 0,6$ - расчётная скорость восходящего потока воды в отстойнике, $\text{мм}/\text{с}$;

$N = 2$ - количество отстойников.

$$F = \frac{1,5 \cdot 1,125}{3,6 \cdot 0,6 \cdot 2} = 0,39 \text{ м}^2$$

Назначаем высоту камеры хлопьеобразования 1,5 м, тогда площадь камеры хлопьеобразования:

$$f_k = \frac{Q_{\text{час}} \cdot t}{60 \cdot H_k \cdot N}, \quad (\text{Д.2})$$

где $Q_{\text{ч}}$ - часовой расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$t = 15 - 20$ - время пребывания воды в камере, мин.;

$H_k = 1,5$ - высота камеры, м;

N - количество отстойников, шт.

$$f_k = \frac{1,125 \cdot 15}{60 \cdot 1,5 \cdot 2} = 0,09 \text{ м}^2$$

Площадь отстойника с учетом площади камеры хлопьеобразования соответственно будет равна:

$$F_{\text{отс}} = F + f_k, \quad (\text{Д.3})$$

где F - площадь зоны осаждения одного отстойника, м^2 ;

f_k - площадь камеры хлопьеобразования, м^2 .

$$F_{\text{отс}} = 0,39 + 0,09 = 0,48 \text{ м}^2$$

Диаметр отстойника:

$$D = \sqrt{\frac{F_{отс} \cdot 4}{\pi}}, \quad (Д.4)$$

где $F_{отс}$ - площадь отстойника с учетом площади камеры хлопьеобразования, $м^2$.

$$D = \sqrt{\frac{0,48 \cdot 4}{3,14}} = 0,78 м$$

Высота камеры хлопьеобразования:

$$H_{\kappa} = 0,9 \cdot H_{отс}, \quad (Д.5)$$

где $H_{отс}$ - высота отстойника, м.

Из вышеприведенной формулы следует:

$$H_{отс} = \frac{H_{\kappa}}{0,9} \quad (Д.6)$$

$$H_{отс} = \frac{1,5}{0,9} = 1,67 м$$

Найдем отношение диаметра отстойника к его высоте $\frac{D}{H} = \frac{0,78}{1,67} = 0,47$.

Принимаем трубопровод для сброса осадка $d=100$ мм, тогда высота конической части при уклоне стен к горизонтали 50° будет равна:

$$h_{\kappa} = \frac{D - d}{2 \cdot \operatorname{tg}(90 - \alpha)}, \quad (Д.7)$$

где D - диаметр отстойника, м;

d - диаметр трубопровода для сброса осадка, м;

α - уклон стен к горизонтали.

$$h_{\kappa} = \frac{0,78 - 0,1}{2 \cdot \operatorname{tg}(90 - 50)} = 0,4 м$$

Объём конической части:

$$W_{oc} = \frac{\pi}{3} h_{\kappa} \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 + \left(\frac{d}{2} \right)^2 + \left(\frac{D}{2} \right) \left(\frac{d}{2} \right) \right], \quad (Д.8)$$

где h_k - высота конической части отстойника, м;
 D - диаметр отстойника, м;
 d - диаметр трубопровода для сброса осадка, м.

$$W_{oc} = \frac{3,14}{3} \cdot 0,4 \cdot \left(\left(\frac{0,78}{2} \right)^2 + \left(\frac{0,1}{2} \right)^2 + \frac{0,78}{2} + \frac{0,1}{2} \right) = 0,25 \text{ м}^3$$

Период между сбросами осадка:

$$T = \frac{W_{oc} \cdot N \cdot \delta}{q_{\text{ч}}(C_{\text{ср}} - m)}, \quad (\text{Д.9})$$

где W_{oc} - объем конической части, м^3 ;

$C_{\text{ср}} = M + k \cdot D_k + 0,25 \cdot Ц + И$ - средняя концентрация взвешенных веществ;

$M = 50$ - количество взвешенных веществ в исходной воде, мг/дм^3 ;

$k = 0,8$ - коэффициент, зависящий от вида коагулянта;

$D_k = 130$ - доза коагулянта, мг/дм^3 ;

$И = (1 - 0,4) \cdot D_u = 0,6 \cdot 400 = 240 \text{ мг} / \text{дм}^3$ - количество нерастворённых веществ,

вводимых известью;

$$C_{\text{ср}} = 50 + 0,8 \cdot 190 + 240 = 442 \text{ мг} / \text{дм}^3$$

$m = 10 \text{ мг} / \text{дм}^3$ - допустимое количество взвеси в осветлённой воде

$$\delta = 51400 \text{ мг} / \text{дм}^3;$$

N - количество отстойников, шт;

$q_{\text{ч}}$ - часовой расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$.

$$T = \frac{0,25 \cdot 2 \cdot 51400}{1,125 \cdot (442 - 10)} = 53 \text{ часа.}$$

Для сбора осветлённой воды устраивается периферийный кольцевой желоб.

Площадь желоба рассчитывается по формуле

$$f_{\text{кж}} = \frac{q_{\text{сек}}}{V_0}, \quad (\text{Д.10})$$

где $V_0 = 0,6$ - скорость движения воды в желобе, м/с ;

$q_{\text{сек}}$ - секундный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$f_{\text{кж}} = \frac{0,0003}{0,6} = 0,0005 \text{ м}^2$$

Принимаем желоб с сечением $0,025 \times 0,02 \text{ м}$.

Суммарная площадь затопляемых отверстий:

$$\sum f = \frac{q_{сек}}{V_0}, \quad (Д.11)$$

где V_0 - скорость движения воды через отверстия, м/с;

$q_{сек}$ - секундный расход сточных вод, м³/с.

$$\sum f = \frac{0,0003}{1} = 0,0003 м^2$$

При диаметре отверстий $d_{отв} = 0,005 м$, количество отверстий:

$$n = \frac{0,0003}{0,000025} = 12 \text{ отверстий.}$$

Периметр кольцевого желоба:

$$P_{жс} = \pi \cdot D_{\epsilon} \quad (Д.12)$$

$$P_{жс} = 3,14 \cdot (0,78 - 2 \cdot 0,02) = 2,3 м$$

Шаг оси отверстий:

$$l = \frac{P_{жс}}{n}, \quad (Д.13)$$

где $P_{жс}$ - периметр кольцевого желоба, м;

n - количество отверстий в желобе, шт.

$$l = \frac{2,3}{12} = 0,2 м$$

Диаметр камеры хлопьеобразования:

$$d_{\kappa} = 1,13 \sqrt{f_{\kappa}}, \quad (Д.14)$$

где f_{κ} - площадь камеры хлопьеобразования, м².

$$d_{\kappa} = 1,13 \cdot \sqrt{0,09} = 0,34 м$$

Секундный расход сточной воды:

$$q_{сек} = \frac{Q_{час}}{N \cdot 360}, \quad (Д.15)$$

где $Q_{час}$ - часовой расход сточной воды, $м^3/ч$;
 N - количество отстойников, шт.

$$q_{сек} = \frac{1,125}{2 \cdot 360} = 0,0016 м^3 / с$$

Диаметр сопла:

$$d_c = 1,13 \sqrt{\frac{q_{сек}}{\mu \cdot V_c}}, \quad (Д.16)$$

где $V_c = 2 \div 3 м / с$ - скорость выхода воды из сопла;
 $\mu = 0,908$ - коэффициент расхода;
 $q_{сек}$ - секундный расход сточных вод, $м^3/с$.

$$d_c = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,0016}{0,908 \cdot 3}} = 0,024 м$$

Длина сопла:

$$l_c = \frac{d_c}{2} \cdot ctg \frac{\beta}{2}, \quad (Д.17)$$

где $\beta = 25^\circ$ - угол конусности насадки;
 d_c - диаметр сопла, м.

$$l_c = \frac{0,024}{2} \cdot ctg \frac{25}{2} = 0,05 м$$

Фактическая скорость выхода воды из сопла:

$$V_\phi = \frac{1,247 \cdot q_{сек}}{d_c^2 \cdot \mu}, \quad (Д.18)$$

где $q_{сек}$ - секундный расход сточных вод, рассчитанный по формуле (Г.15), $м^3/с$;
 d_c - диаметр сопла, м;
 $\mu = 0,908$ - коэффициент расхода.

$$V_\phi = \frac{1,247 \cdot 0,0016}{0,024^2 \cdot 0,908} = 3,81 м / с$$

Потери напора в сопле:

$$h_c = 0,06 \cdot V_\phi^2, \quad (\text{Д.19})$$

где V_ϕ - фактическая скорость выхода воды из сопла, м/с.

$$h_c = 0,06 \cdot 3,81^2 = 0,87 \text{ м}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Расчет тонкослойного отстойника

Назначаем параметры отстойника согласно [62]:

$h_{ii} = 0,05$ - высота яруса, м;

$V_w = 0,2$ - скорость потока в ярусе, см/с;

$U_o = 0,1$ - гидравлическая крупность взвешенных частиц, мм/с.

Проверим условие обеспечения ламинарности движения. Для этого необходимо определить число Рейнольдса:

$$Re = \frac{V_w \cdot h_{ii}}{\nu}, \quad (E.1)$$

где $\nu = 0,0131$ - вязкость воды;

V_w - скорость потока в ярусе, см/с;

h_{ii} - высота яруса, см.

$$Re = \frac{0,2 \cdot 5}{0,0131} = 76 < 500 \text{ - условие выполняется, так как для круглых в плане}$$

отстойников число Рейнольдса не должно превышать 500.

Длина пластины:

$$L_{пл} = k_3 \frac{V_w \cdot h_{ii}}{U_o}, \quad (E.2)$$

где V_w - скорость потока в ярусе, см/с;

h_{ii} - высота яруса, м;

$k_3 = 1,3$ - коэффициент запаса;

U_o - гидравлическая крупность взвешенных частиц, см/с.

$$L_{пл} = 1,3 \cdot \frac{0,2 \cdot 5}{0,01} = 130 \text{ см} = 1,3 \text{ м}$$

Производительность отстойника:

$$q_{set} = 3,6 \cdot k_{set} \cdot H_{bl} \cdot B_{bl} \cdot V_v \quad (E.3)$$

Из вышеприведенной формулы площадь сечения отстойника:

$$H_{bl} \cdot B_{bl} = \frac{q_q}{3,6 \cdot k_{set} \cdot V_o}, \quad (E.4)$$

где H_{bl} - высота тонкослойного блока, м;
 B_{bl} - ширина тонкослойного блока, м;
 $q_{ч}$ - часовой расход сточных вод, м³/ч;
 K_{set} - коэффициент использования зоны, принимаем равным 0,7;
 V_w - скорость потока в ярусе, см/с.

$$H_{bl} \cdot B_{bl} = \frac{1,125}{3,6 \cdot 0,7 \cdot 0,2} = 2,23 \text{ м}^2$$

Назначаем отстойник квадратного сечения: $1,5 \times 1,5$ м.

Расстояние между пластинами:

$$b_n = h_{ii} \cdot \cos \alpha, \quad (E.5)$$

где $\alpha = 60^\circ$ - угол наклона отстойника к горизонту.

h_{ii} - высота яруса, м.

$$b_n = 0,05 \cdot 0,5 = 0,025 \text{ м}$$

Количество пластин:

$$n_{ii} = \frac{H_{bl}}{b_n}, \quad (E.6)$$

где H_{bl} - высота тонкослойного блока, м;

b_n - расстояние между пластинами, м.

$$n_{ii} = \frac{0,472}{0,025} = 19 \text{ пластин.}$$

Конструктивно назначаем: 300 мм - зона распределения сточных вод, 350 мм - зона сбора осадка, 350 мм - зона сбора воды.

Назначаем один рабочий и один резервный отстойник.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Расчет дренажной системы отстойника

Скорость движения воды в коллекторе:

$$V_{кол} = \frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot d_k^2}, \quad (Ж.1)$$

где q_c - секундный расход сточных вод, $м^3/с$;
 d_k - диаметр коллектора, м.

$$V_{кол} = \frac{4 \cdot 0,0003}{3,14 \cdot 0,05^2} = 0,153 \text{ м / с} < V_{дон} = 2 \text{ м / с}$$

С каждой стороны коллектора назначаем по 2 ответвления диаметром 0,02 м.

Расход воды через одно ответвление:

$$q_{отв} = \frac{q_{кол}}{4}, \quad (Ж.2)$$

где $q_{кол}$ - секундный расход сточных вод, $м^3/с$.

$$q_{отв} = \frac{0,0003}{4} = 0,000075 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Скорость воды в ответвлении:

$$V_{отв} = \frac{4 \cdot q_{отв}}{\pi \cdot d_{отв}^2}, \quad (Ж.3)$$

где $q_{отв}$ - расход воды через одно ответвление, $м^3/с$;
 $d_{отв}$ - диаметр ответвления, м.

$$V_{отв} = \frac{4 \cdot 0,000075}{3,14 \cdot 0,02^2} = 0,24 \text{ м / с}$$

На ответвлениях укрепляются щелевые дренажные колпачки ВТИ-5.

Суммарная площадь щелей колпачков составляет 0,8-1% рабочей площади отстойника:

$$\sum f_{щ} = 0,01 \cdot S_{отс}, \quad (Ж.4)$$

где $S_{отс}$ - рабочая площадь отстойника, m^2 .

$$\sum f_{щ} = 0,01 \cdot 2,23 = 0,0223 m^2$$

Площадь щелей на каждом колпачке составляет $f_{щ} = 0,000192 m^2$

Общее число колпачков:

$$n = \frac{\sum f_{щ}}{f_{щ}}, \quad (Ж.5)$$

где $\sum f_{щ}$ - суммарная площадь щелей колпачков, m^2 ;

$f_{щ}$ - площадь щелей на каждом колпачке, m^2 .

$$n = \frac{0,0223}{0,000192} = 116 шт$$

Длина ответвления:

$$L = \frac{B_{отс} - d_{отв}}{2}, \quad (Ж.6)$$

где $B_{отс}$ - ширина отстойника, м;

$d_{отв}$ - диаметр ответвления, м.

$$L = \frac{0,472 - 0,02}{2} = 0,226 м$$

Расстояние между колпачками:

$$l = \frac{L}{3}, \quad (Ж.7)$$

где L - длина ответвления, м.

$$l = \frac{0,226}{3} = 0,075 м - по 2 колпачка на каждое ответвление.$$

Расход воды через один колпачок:

$$q_{кол} = \frac{q_{сек}}{n}, \quad (Ж.8)$$

где $q_{сек}$ - секундный расход сточных вод, $m^3/ч$;

n - количество колпачков, шт.

$$q_{колл} = \frac{0,0003}{116} = 0,0000026 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Скорость прохода воды через щель:

$$V_{щ} = \frac{q_{колл}}{f_{щ}}, \quad (\text{Ж.9})$$

где $q_{колл}$ - расход воды через один колпачок, $\text{м}^3/\text{с}$;
 $f_{щ}$ - площадь щелей на каждом колпачке, м^2 .

$$V_{щ} = \frac{0,0000026}{0,000192} = 0,01 \text{ м/с}$$

Сопротивление в щелях колпачков:

$$h = \frac{V_{щ}^2}{2 \cdot g \cdot \mu^2}, \quad (\text{Ж.10})$$

где $\mu = 0,5$ - коэффициент расхода;

$V_{щ}$ - скорость прохода воды через щель, м.

$$h = \frac{0,01^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,5^2} = 0,00002 \text{ м}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Расчет блока фильтров

Площадь фильтров:

$$F = \frac{Q_{\text{сут}}}{T \cdot V_{\text{рн}} - 3,6 \cdot n \cdot \omega \cdot t_1 - n \cdot t_2 \cdot V_{\text{рн}}}, \quad (\text{И.1})$$

где $T = 8$ - время работы в сутки, ч;

$V_{\text{рн}} = 6$ - расчетная скорость фильтрации, м/ч;

$n = 2$ - число промывок;

$\omega = 8$ - интенсивность промывки, л/с·м²;

$t_1 = 0,1$ - продолжительность промывки, ч;

$t_2 = 0,33$ - простой фильтра в связи с промывкой, ч.

$$F = \frac{9}{8 \cdot 6 - 3,6 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 0,1 - 2 \cdot 0,33 \cdot 6} = 0,24 \text{ м}^2$$

Принимаем три фильтра.

Площадь одного фильтра:

$$F_{\phi} = \frac{F}{3}, \quad (\text{И.2})$$

где F - общая площадь фильтров, м².

$$F_{\phi} = \frac{0,24}{3} = 0,08 \text{ м}^2$$

Принимаем фильтр сечением 0,28×0,28м.

Расчетная скорость фильтрации при форсированном режиме:

$$V_{\text{рф}} = V_{\text{рн}} \cdot \frac{N}{N-1}, \quad (\text{И.3})$$

где $V_{\text{рн}}$ - расчетная скорость фильтрации, м/ч;

N - количество фильтров, шт;

1 - число фильтров, находящихся в ремонте.

$$V_{\text{рф}} = 6 \cdot \frac{3}{3-1} = 9 \text{ м/ч}$$

Расход промывной воды:

$$Q_{пр.в} = F \cdot \omega, \quad (И.4)$$

где F - общая площадь фильтров, $м^2$;
 ω - интенсивность промывки, $л/с \cdot м^2$.

$$Q_{пр.в} = 0,24 \cdot 8 = 1,92 л / с$$

Объём промывной воды для промывки одного фильтра:

$$V_{пр.в} = F_{\phi} \cdot \omega \cdot t, \quad (И.5)$$

где F_{ϕ} - площадь одного фильтра, $м^2$;
 ω - интенсивность промывки, $л/с \cdot м^2$;
 t - время промывки фильтра, 6 мин.

$$V_{пр.в} = 0,08 \cdot 8 \cdot 6 = 3,84 м^3$$

Напор промывной воды: 20 - 30 м.

Принимаем насос марки ВКС 2/26 со следующими техническими характеристиками:

- номинальная подача (Q , $м^3/ч$) - 3,6;
- номинальный напор (H , м) - 20;
- рабочая зона: подача - 1,1...6 $м^3/ч$, напор - 8...34 м;
- максимальная высота всасывания (H_{max} , м) - 4;
- электродвигатель: марка - АИР100L6, $N=2,2$ кВт, 1000 об/мин;

Габаритные размеры агрегата: $L = 835$ мм, $B = 300$ мм, $H = 448$ мм. Масса насоса составляет 30 кг. Масса агрегата составляет 71 кг.

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Расчет дренажной системы для отвода промывной воды

Расход промывной воды:

$$q_{np} = F \cdot \omega, \quad (K.1)$$

где F – площадь фильтра, m^2 ;
 ω - интенсивность промывки, $л/с \cdot m^2$.

$$q_{np} = 0,24 \cdot 8 = 1,92 л / с$$

Площадь отверстий на ответвлении:

$$\sum f_0 = k_n \cdot f_{кол}, \quad (K.2)$$

где k_n – коэффициент перфорации, 0,03-0,05% принимаем по [61];
 $f_{кол}$ - площадь поперечного сечения коллектора, m^2 .

Площадь поперечного сечения коллектора:

$$f_{кол} = \frac{\pi \cdot d_k^2}{4}, \quad (K.3)$$

где d_k – диаметр коллектора, 0,05 м.

$$f_{кол} = \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 0,002 м^2$$

Площадь одного отверстия:

$$f_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}, \quad (K.4)$$

где $d_0 = 20$ мм – диаметр отверстия.

$$f_0 = \frac{3,14 \cdot 0,02^2}{4} = 0,0003 м^2$$

Площадь живого сечения потока в желобе:

$$\omega_{\text{жс}} = \frac{q_{\text{ч}}}{V_{\text{жс}}}, \quad (\text{K.5})$$

где $V_{\text{ж}} = 0,8$ м/с – скорость движения воды в желобе.
 $q_{\text{ч}}$ - часовой расход сточных вод, м³/ч.

$$\omega_{\text{жс}} = \frac{1,125}{0,8} = 1,406 \text{ м}^2$$

Диаметр желоба:

$$d_{\text{жс}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \omega_{\text{жс}}}{\pi}}, \quad (\text{K.6})$$

где $\omega_{\text{ж}}$ - площадь живого сечения потока в желобе, м².

$$d_{\text{жс}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,406}{3,14}} = 1,34 \text{ м}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Расчет шламоуплотнителя

Количество осадка, поступающего в шламонакопитель:

$$G = 0,15 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (\text{Л.1})$$

Объем шламоуплотнителя определяется по формуле

$$W = G \cdot n \cdot t, \quad (\text{Л.2})$$

где G - количество осадка, поступающего в шламонакопитель, $\text{м}^3/\text{ч}$;

n - расчетное количество суток;

t - время работы сооружения, 8ч.

$$W = 0,15 \cdot 5 \cdot 8 = 6 \text{ м}^3$$

Площадь шламоуплотнителя определяется по формуле

$$F = \frac{W}{H}, \quad (\text{Л.3})$$

где W - объем шламоуплотнителя, м^3 ;

H - высота шламоуплотнителя, 1,5м.

$$F = \frac{6}{1,5} = 4 \text{ м}^2$$

Диаметр шламоуплотнителя определяется по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}, \quad (\text{Л.4})$$

где F - площадь шламоуплотнителя, м^2 .

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 4}{3,14}} = 2,2 \text{ м.}$$

Для подачи осадка на центрифугу принимаем насос ВК 1/16А: подача – до $3,6 \text{ м}^3/\text{ч}$; напор – 16 м; $N_{\text{дв}}$ – 1,2 кВт; масса насоса – 58 кг.

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Расчет центрифуги

Параметры центрифуги рассчитываются исходя из следующих зависимостей:

$$Q = \frac{\rho_{ж} \cdot \omega^2 \cdot (r_2^2 - r_1^2)}{2 \cdot \mu \cdot \left(\frac{\alpha \cdot m_m}{S_{ср.лог} \cdot S_{ср.ар}} + \frac{R_\phi}{S_\phi} \right)}, \quad (M.1)$$

где $\omega = 1500$ об/мин = 152 рад/с - угловая скорость вращения;

$\rho_{ж} = 1060$ - плотность обрабатываемой жидкости, кг/м³;

$\mu = 0,001$ - динамическая вязкость жидкости, кг/м·с;

$\alpha = 0,82 \cdot 10^{10}$ - удельное сопротивление фильтрации осадка, м/кг;

$m_m = 1,6$ - масса твердого осадка в роторе, поступающего за сутки, кг/сут;

$R_\phi = 10^5$ - удельное сопротивление фильтра, м⁻¹;

r_2 - радиус ротора, 0,25 м;

r_1 - радиус поверхности жидкости, 0,15 м.

Время обработки: $T_{обр} = 1$ ч. $Q = 0,15 \text{ м}^3 / \text{сут}$ - суточный расход осадка.

Площадь фильтра:

$$S_\phi = 2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot b, \quad (M.2)$$

где r_2 - радиус ротора, 0,25 м;

b - высота ротора, м.

$$S_\phi = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,25 \cdot 1 = 1,57 \text{ м}^2$$

Средне логарифмическое значение площади осадка:

$$S_{ср.лог} = \frac{2 \cdot \pi \cdot b \cdot (r_2 - r_i)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_i}\right)}, \quad (M.3)$$

где b - высота ротора, м;

r_2 - радиус ротора, 0,25 м;

r_1 - радиус поверхности жидкости, 0,15 м.

$$S_{ср.лог} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot (0,25 - 0,24)}{\ln\left(\frac{0,25}{0,24}\right)} = 1,57$$

Средне арифметическое значение площади осадка:

$$S_{cp.ap} = (r_2 - r_i) \cdot \pi \cdot b, \quad (M.4)$$

где b - высота ротора, м;

r_2 - радиус ротора, 0,25 м;

r_1 - радиус поверхности жидкости, 0,15 м.

$$S_{cp.ap} = (0,25 - 0,24) \cdot 3,14 \cdot 1 = 0,0314$$

Высота ротора:

$$b = 4 \cdot r_2, \quad (M.5)$$

где r_2 - радиус ротора, 0,25 м.

$$b = 4 \cdot 0,25 = 1 \text{ м.}$$

$$Q = \frac{1060 \cdot 152 \cdot (0,25^2 - 0,15^2)}{2 \cdot 0,001 \cdot \left(\frac{0,82 \cdot 10^{10} \cdot 1,6}{1,57 \cdot 0,0314} + \frac{10^5}{1,57} \right)} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 / \text{с}$$

В соответствии с приведенными зависимостями определяем:

- радиус поверхности осадка в роторе $r_i = 0,24$ м;
- частота вращения двигателя $n = 1500$ об/мин;
- исходная влажность осадка $W_{исх} = 99$ %;
- остаточная влажность осадка $W_{ост} = 60$ %.

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Технологический расчет сооружений очистки хромсодержащих сточных вод

Площадь полезного сечения при диаметре стальной трубы $D=500$ мм и диаметре центрального стержня (анода) $d_a=50$ мм:

$$S_n = \frac{\pi}{4} (D^2 - d_a^2), \quad (\text{Н.1})$$

где D - диаметр стальной трубы, м;
 d - диаметр центрального стержня (анода), м.

$$S_n = \frac{3,14}{4} \cdot (0,5^2 - 0,05^2) = 0,2 \text{ м}^2$$

Высота активной загрузки при времени контакта обрабатываемой воды $t=15$ мин:

$$H = \frac{Q_{\text{ч}} \cdot t}{S_n}, \quad (\text{Н.2})$$

где $Q_{\text{ч}}$ - часовой расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 S_n - площадь полезного сечения, м^2 ;
 t - время контакта обрабатываемой воды, 15 мин = 0,25 ч.

$$H = \frac{1,125 \cdot 0,25}{0,2} = 1,41 \text{ м}$$

Общая высота модуля при соотношении объема загрузки и общего объема равного 0,7 составит:

$$H_{\text{общ}} = \frac{H}{0,7}, \quad (\text{Н.3})$$

где H - высота активной загрузки, м.

$$H_{\text{общ}} = \frac{1,41}{0,7} = 2,01 \text{ м}$$

Объем активной загрузки:

$$V = S_n \cdot H, \quad (\text{Н.4})$$

где S_n - площадь полезного сечения, m^2 ;
 H - высота активной загрузки, м.

$$V = 0,2 \cdot 1,41 = 0,3 m^3$$

Масса активной загрузки вычисляется исходя из насыпного веса. Насыпной вес для стальной стружки более 2 мм насыпной вес составляет $\gamma_{cm} = 950 \text{ кг} / m^3$. Насыпной вес определяем эмпирически в зависимости от природы загружаемого материала.

При заданных параметрах определим необходимую массу стружки:

$$M_{cm} = V_{cm} \cdot \gamma_{cm}, \quad (H.5)$$

где γ_{cm} - насыпной вес стружки, $950 \text{ кг} / m^3$;
 V_{cm} - объем стружки, m^3 .

$$M_{cm} = 0,24 \cdot 950 = 228 \text{ кг}$$

Суммарный объем обработанной воды для одного модуля исходя из коэффициента использования стальной стружки 0,9 и максимальной концентрации $Fe_{общ}$ в обработанной воде $100 \text{ мг} / л$ ($0,1 \text{ кг} / m^3$) составит:

$$Q_1 = \frac{M_{cm} \cdot K_{исп}}{C_{Fe,общ}}, \quad (H.6)$$

где $M_{стр}$ - масса стружки, кг;
 $K_{исп}$ - коэффициента использования стальной стружки;
 $C_{Feобщ.}$ - максимальной концентрации $Fe_{общ}$ в обработанной воде, $кг / m^3$.

$$Q_1 = \frac{228 \cdot 0,9}{0,1} = 2052 m^3$$

Минимальная продолжительность работы модуля производительностью $1,125 m^3 / ч$ при 8 часовой работе в сутки составит:

$$T = \frac{Q_1}{q_{ч} \cdot T}, \quad (H.7)$$

где Q_1 - суммарный объем обработанной воды для одного модуля, m^3 ;
 $q_{ч}$ - часовой расход сточной воды, $m^3 / ч$;
 T - время работы модуля в сутки, ч.

$$T = \frac{2052}{1,125 \cdot 8} = 228 \text{ суток.}$$

По результатам данного расчета технические характеристики элементарного модуля следующие:

- производительность – $1,125 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- габаритные размеры: высота – $2,01 \text{ м}$;
диаметр – $0,5 \text{ м}$;
- диаметр центрального стержня – $0,05 \text{ м}$;
- масса стальной стружки – 228 кг ;
- максимальная потребляемая мощность не более $0,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$.

ПРИЛОЖЕНИЕ П

Расчет реагентного хозяйства

Для обезвреживания хромсодержащих сточных вод следует применять бисульфат натрия при pH=2,5-3. Дозу бисульфата натрия надлежит принимать равной 7,5мг на 1мг шестивалентного хрома:

$$D_{Na_2SO_3} = D'_{Na_2SO_3} \cdot C_{Cr^{+6}}, \quad (П.1)$$

где $D'_{Na_2SO_3}$ - доза бисульфата натрия, мг/дм³;

$C_{Cr^{+6}}$ - концентрация ионов шестивалентного хрома в сточных водах, мг/дм³.

$$D_{Na_2SO_3} = 7,5 \cdot 95 = 712,5 \text{ мг} / \text{дм}^3$$

Для интенсификации процесса коагуляции применяем ПАА в дозе $D_{ПАА} = 0,3 \text{ мг} / \text{дм}^3$.

Производительность мешалки для приготовления раствора ПАА:

$$q_m = \frac{Q_{сут} \cdot D_{ПАА}}{T \cdot 1000}, \quad (П.2)$$

где $Q_{сут}$ - суточный расход сточной воды, м³/сут;

$D_{ПАА}$ - доза полиакриламида, мг/дм³;

T - время работы сооружений, ч.

$$q_m = \frac{9 \cdot 0,3}{8 \cdot 1000} = 0,0003375 \text{ кг} / \text{ч}$$

Перед подачей обезвреженных сточных вод на отстойник их необходимо нейтрализовать известковым молоком до pH=8. Дозу извести назначаем с учетом экспериментальных данных: $D_{изв} = 400 \text{ мг} / \text{л}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ Р

Бак для растворения коагулянта с подводом сжатого воздуха

Емкость растворного бака:

$$W_p = \frac{q_{\text{час}} \cdot n \cdot D_k}{10000 \cdot B_p \cdot \gamma}, \quad (\text{Р.1})$$

где $q_{\text{ч}}$ - часовой расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$\gamma = 1,05$ - объемный вес коагулянта, $\text{т}/\text{м}^3$;

$n = 8$ - число часов, на которое заготавливается коагулянт;

$B_p = 10 - 17\%$ - концентрация раствора коагулянта в растворном баке;

D_k - доза бисульфата натрия, мг.

$$W_p = \frac{1,125 \cdot 8 \cdot 712,5}{10000 \cdot 10 \cdot 1,05} = 0,06 \text{ м}^3$$

Высота слоя воды в баке – 0,5м.

Высота бака:

$$h_o = h_{\text{сл.в}} + 0,3, \quad (\text{Р.2})$$

где $h_{\text{сл.в.}}$ - высота слоя воды в баке, м.

$$h_o = 0,5 + 0,3 \text{ м} = 0,8 \text{ м}$$

Площадь бака:

$$F_1 = \frac{W_p}{h_{\text{сл.в}}}, \quad (\text{Р.3})$$

где W_p - объем растворного бака, м^3 ;

$h_{\text{сл.в.}}$ - высота слоя воды в баке, м.

$$F_1 = \frac{0,06}{0,5} = 0,12 \text{ м}^2$$

Размеры бака: $0,35 \times 0,35 \times 0,8$ м.

Емкость расходного бака:

$$W_{расх} = \frac{W_p \cdot B_p}{B}, \quad (P.4)$$

где $B = 4-10\%$ - концентрация раствора коагулянта в расходном баке;
 B_p - концентрация раствора коагулянта в растворном баке;
 W_p - объем растворного бака, m^3 .

$$W_{расх} = \frac{0,06 \cdot 10}{4} = 0,15 m^3$$

На 1 растворный бак предусматриваем 2 расходных бака:

$$W_{расх}^1 = \frac{W_{расх}}{2}, \quad (P.5)$$

где $W_{расх}$ - объем расходного бака, m^3 .

$$W_{расх}^1 = \frac{0,15}{2} = 0,075 m^3$$

Высота слоя воды в баке – 0,5м.
 Высота бака:

$$h_{\phi} = h_{сл.в} + 0,3, \quad (P.6)$$

где $h_{сл.в.}$ - высота слоя воды в баке, м.

$$h_{\phi} = 0,5 + 0,3 м = 0,8 м$$

Площадь бака:

$$F_2 = \frac{W_{расх}}{h_{сл.в.}}, \quad (P.7)$$

где $W_{расх}$ - объем расходного бака, m^3 ;
 $h_{сл.в.}$ - высота слоя воды в баке, м.

$$F_2 = \frac{0,075}{0,5} = 0,15 m^2$$

Размеры бака: $0,39 \times 0,39 \times 0,8 м$.

ПРИЛОЖЕНИЕ С

Воздуходувки и воздухопроводы

Общий расход воздуха:

$$q_{\text{в}} = F_1 \omega_1 + F_2 \omega_2, \quad (\text{C.1})$$

где F_1, F_2 - площади растворных и расходных баков, м^2 ;

$\omega_1 = 8-10$ - интенсивность подачи воздуха в растворный бак, $\text{л/с}\cdot\text{см}^2$;

$\omega_2 = 3-5$ - интенсивность подачи воздуха в растворный бак, $\text{л/с}\cdot\text{см}^2$.

$$q_{\text{в}} = 0,12 \cdot 10 + 0,15 \cdot 5 = 1,95 \text{ л/с} = 0,117 \text{ м}^3 / \text{мин}$$

По полученному результату подбираем воздуходувку ВК-0,75 (кольцевая, простого действия со следующими параметрами: производительность 0,75 $\text{м}^3/\text{мин}$, мощность электродвигателя 3 кВт). Предусматриваем, кроме того, резервную воздуходувку ВК-0,75.

Скорость движения воздуха в воздухопроводе:

$$V = \frac{q_{\text{в}}}{60 \cdot (p-1) \cdot 0,785 \cdot d^2}, \quad (\text{C.2})$$

где $q_{\text{в}}$ - общий расход воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$;

$p = 1,5$ - давление в трубопроводе, кгс/см^2 ;

$W = 0,345$ - расход воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$;

$d = 0,04$ - диаметр воздухопровода, мм.

$$V = \frac{0,117}{60 \cdot (1,5-1) \cdot 0,785 \cdot 0,04^2} = 3,1 \text{ м/с}$$

Потери давления воздуха:

$$P_1 = \frac{12,5 \cdot \beta \cdot G^2 \cdot l}{\gamma \cdot d^5}, \quad (\text{C.3})$$

где β - коэффициент сопротивления, 1,68 по таблице 18[61] ;

$l = 20$ - длина воздухопровода, м;

G - весовой расход воздуха, кг/ч ;

γ - удельный вес сухого воздуха, принимаемый по таблице 19 [61];

d - диаметр воздухопровода, мм.

$$G = q_v \cdot 60 \cdot \gamma, \quad (C.4)$$

где q_v - общий расход воздуха, м³/мин;

γ - удельный вес сухого воздуха, принимаемый по таблице 19 [61].

$$G = 0,117 \cdot 60 \cdot 1,9 = 13,338 \text{ кг/ч}$$

$$P_1 = \frac{12,5 \cdot 1,68 \cdot 13,338^2 \cdot 20}{1,9 \cdot 40^5} = 0,00038 \text{ кгс/с}^2$$

Сумма коэффициентов местных сопротивлений:

$$\sum \xi = 1,5 \cdot n, \quad (C.5)$$

где $n = 3$ - число колен.

$$\sum \xi = 1,5 \cdot 3 = 4,5$$

Потери напора в фасонных частях:

$$P = 0,063 \cdot V^2 \cdot \sum \xi, \quad (C.6)$$

где V - скорость движения воздуха в воздухопроводе, м/с;

$\sum \xi$ - потери напора в фасонных частях, м.

$$P = 0,063 \cdot 3,1^2 \cdot 4,5 = 2,72 \text{ мм.в.ст.}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Т

Суженый участок для ввода реагентов

Диаметр подводящего водовода:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{сек}}{\pi \cdot V}}, \quad (T.1)$$

где $q_{сек}$ - секундный расход сточных вод, $м^3/с$;

V - скорость в водоводе, принимается по [61] 1-1,2 м/с.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0003}{3,14 \cdot 1}} = 0,019 м \approx 0,02 м$$

Принимаем водовод $\varnothing 20$ мм, тогда скорость в нем:

$$V_1 = \frac{4 \cdot q_{сек}}{\pi \cdot D^2}, \quad (T.2)$$

где $q_{сек}$ - секундный расход сточных вод, $м^3/с$;

D - диаметр водовода, 20 мм.

$$V_1 = \frac{4 \cdot 0,0003}{3,14 \cdot 0,02^2} = 0,96 м / с$$

Диаметр суженного участка:

$$d = \frac{D}{2}, \quad (T.3)$$

где D - диаметр водовода, 20 мм.

$$d = \frac{0,02}{2} = 0,01 м$$

Принимаем диаметр суженого участка 100 мм.

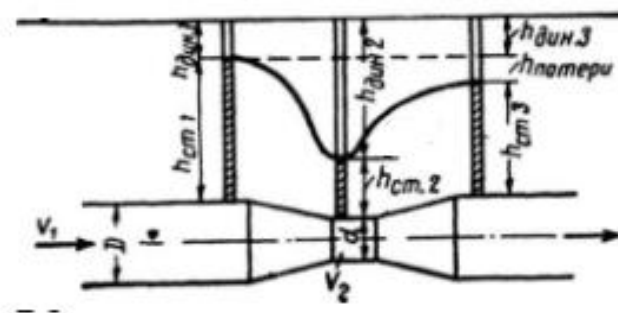


Рисунок Т.1 - Схема сужения трубопровода для ввода раствора реагента

Динамическое давление воды в водоводе:

$$h_{дин1} = \frac{V_1^2}{2 \cdot g}, \quad (Т.4)$$

где V - скорость в водоводе, м/с.

$$h_{дин1} = \frac{0,96^2}{2 \cdot 9,81} = 0,047 \text{ м}$$

Динамическое давление в суженном участке:

$$h_{дин2} = \frac{V_2^2}{2 \cdot g}, \quad (Т.5)$$

где V_2 - скорость движения воды в суженном участке, м/с.

$$h_{дин2} = \frac{3,82^2}{2 \cdot 9,81} = 0,74 \text{ м}$$

Скорость движения воды в суженном участке:

$$V_2 = \frac{4 \cdot q_{сек}}{\pi \cdot d^2}, \quad (Т.6)$$

где $q_{сек}$ - секундный расход сточных вод, м³/с;
 d - диаметр суженного участка, м.

$$V_2 = \frac{4 \cdot 0,0003}{3,14 \cdot 0,01^2} = 3,82 \text{ м/с}$$

Потери напора в суженном участке:

$$h_c = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g}, \quad (\text{T.7})$$

где V_1 - скорость движения реагента в подводящем трубопроводе, м/с;
 V_2 - скорость движения воды в суженном участке, м/с.

$$h_c = \frac{3,82 - 0,96}{2 \cdot 9,81} = 0,14 \text{ м}$$

Площадь поперечного сечения водовода:

$$f_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (\text{T.8})$$

где D - диаметр водовода, 20 мм.

$$f_1 = \frac{3,14 \cdot 0,02^2}{4} = 0,000314 \text{ м}^2$$

Площадь поперечного сечения суженного участка:

$$f_2 = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (\text{T.9})$$

где d - диаметр суженного участка, м.

$$f_2 = \frac{3,14 \cdot 0,01^2}{4} = 0,0000785 \text{ м}^2$$

Отношение площадей поперечного сечения участков трубопровода:

$$m = \frac{f_1}{f_2}, \quad (\text{T.10})$$

где f_1 - площадь поперечного сечения водовода, м²;
 f_2 - площадь поперечного сечения суженного участка, м.

$$m = \frac{0,000314}{0,0000785} = 4$$

Разность отметок уровней воды в пьезометрах:

$$\sqrt{h} = \frac{q_{сек} \cdot \sqrt{m^2 - 1}}{\mu \cdot f_1 \cdot \sqrt{2 \cdot g}}, \quad (T.11)$$

где $\mu = 0,98$ - коэффициент расхода;

$q_{сек}$ - секундный расход сточных вод, m^3/c ;

m - отношение площадей поперечного сечения участков трубопровода;

f_1 - площадь поперечного сечения водовода, m^2 .

$$\sqrt{h} = \frac{0,0003 \cdot \sqrt{4^2 - 1}}{0,98 \cdot 0,000314 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} = 0,85_m$$

Склады реагентов

Для хранения Na_2SO_3 и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ необходимо устройство склада, рассчитанного на 15-30 суточную наибольшую потребность в реагентах.

Склады должны примыкать к помещению, где установлены баки для приготовления раствора коагулянта и известкового молока.

Площадь склада коагулянта:

$$F_{\text{скл}}^{\kappa} = \frac{Q \cdot D_{\kappa} \cdot T \cdot \alpha}{P_c^{\kappa} \cdot 10000 \cdot h_{\kappa} \cdot G_0^{\kappa}}, \quad (\text{У.1})$$

где Q - полная производительность очистной станции, $\text{м}^3/\text{сут}$;

D_{κ} - расчетная доза коагулянта, устанавливаемая исходя из максимальной потребности, $\text{мг}/\text{дм}^3$;

$T = 30$ - продолжительность хранения коагулянта на складе, сут.;

$\alpha = 1,15$ - коэффициент учета дополнительной площади проходов на складе;

$P_c^{\kappa} = 33,5\%$ - содержание безводного продукта в коагулянте;

$h_{\kappa} = 0,5$ - допустимая высота слоя коагулянта на складе, м;

$G_0^{\kappa} = 1,05$ - объемный вес коагулянта при загрузке склада навалом, $\text{т}/\text{м}^3$.

$$F_{\text{скл}}^{\kappa} = \frac{9 \cdot 487,5 \cdot 30 \cdot 1,15}{33,5 \cdot 10000 \cdot 0,5 \cdot 1,05} = 0,86 \text{ м}^2$$

Площадь склада извести рассчитаем по формуле

$$F_{\text{скл}}^u = \frac{Q \cdot D_u \cdot T \cdot \alpha}{P_c^u \cdot 10000 \cdot h_u \cdot G_0^u}, \quad (\text{У.2})$$

где Q - полная производительность очистной станции, $\text{м}^3/\text{сут}$;

D_u - доза извести, $400 \text{ мг}/\text{дм}^3$;

$T = 30 \text{ сут}$ - продолжительность хранения;

$\alpha = 1,15$ - коэффициент учета дополнительной площади проходов;

$P_c^u = 50\%$ - содержание безводного продукта в извести;

$h_u = 0,5 \text{ м}$ - высота слоя извести;

$G_0^u = 1 \text{ т} / \text{м}^3$ - объемный вес коагулянта при загрузке склада навалом.

$$F_{\text{скл}}^u = \frac{9 \cdot 400 \cdot 30 \cdot 1,15}{50 \cdot 10000 \cdot 0,5 \cdot 1} = 0,5 \text{ м}^2$$

Размер склада помещения для извести и коагулянта принимаем равным 1 м^2 .

ПРИЛОЖЕНИЕ Ф

Вертикальный (вихревой) смеситель

Площадь горизонтального сечения в верхней части смесителя:

$$f_{\epsilon} = \frac{q_{\epsilon}}{V_{\epsilon}}, \quad (\Phi.1)$$

где $V_{\epsilon} = 90 - 100$ - скорость восходящего движения воды, м/ч;

q_{ϵ} - часовой расход сточной воды, м³/ч.

$$f_{\epsilon} = \frac{1,125}{90} = 0,0125 \text{ м}^2$$

Сторона квадратной верхней части смесителя:

$$b_{\epsilon} = \sqrt{f_{\epsilon}}, \quad (\Phi.2)$$

где f_{ϵ} - площадь горизонтального сечения в верхней части смесителя, м².

$$b_{\epsilon} = \sqrt{0,0125} = 0,112 \text{ м}$$

Диаметр подводящего трубопровода:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{сек}}}{\pi \cdot V_n}}, \quad (\Phi.3)$$

где $V_n = 1,0 - 1,2 \text{ м/с}$ - скорость в подводящем трубопроводе, м/с;

$q_{\text{сек}}$ - секундный расход сточной воды, м³/с.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0003}{3,14 \cdot 1}} = 0,019 \text{ м}$$

Принимаем трубопровод диаметром $d = 20 \text{ мм}$.

Тогда скорость будет равна:

$$V_n = \frac{4 \cdot q_{\text{сек}}}{\pi \cdot d^2}, \quad (\Phi.4)$$

где $q_{\text{сек}}$ - секундный расход сточной воды, м³/с;

d - диаметр подводящего трубопровода, м.

$$V_n = \frac{4 \cdot 0,0003}{3,14 \cdot 0,02^2} = 0,96 \text{ м / с}$$

Площадь нижней части смесителя:

$$f_n = D^2, \quad (\Phi.5)$$

где $D = 23$ - внешний диаметр трубопровода, мм.

$$f_n = 0,023^2 = 0,000529 \text{ м}^2$$

Высота нижней пирамидальной части смесителя:

$$h_n = 0,5 \cdot (b_{\text{в}} - b_n) \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (\Phi.6)$$

где $\alpha = 45^\circ$ - величина центрального угла;

$b_{\text{в}}$ - сторона квадратной верхней части смесителя, м;

b_n - сторона квадратной нижней части смесителя, м.

$$h_n = 0,5 \cdot (0,112 - 0,023) \cdot \operatorname{ctg} \frac{45}{2} = 0,11 \text{ м}$$

Объем пирамидальной части смесителя:

$$W_n = \frac{1}{3} \cdot h_n \cdot (f_{\text{в}} + f_n + \sqrt{f_{\text{в}} \cdot f_n}), \quad (\Phi.7)$$

где h_n - высота нижней пирамидальной части смесителя, м;

$f_{\text{в}}$ - площадь горизонтального сечения в верхней части смесителя, м^2 ;

f_n - площадь горизонтального сечения в нижней части смесителя, м^2 .

$$W_n = \frac{1}{3} \cdot 0,11 \cdot (0,0125 + 0,000529 + \sqrt{0,0125 \cdot 0,000529}) = 0,005 \text{ м}^3$$

Полный объем смесителя:

$$W = \frac{q_{\text{ч}} \cdot t}{60}, \quad (\Phi.8)$$

где $t = 1,5$ - продолжительность смещения, мин.;

$q_{\text{ч}}$ - часовой расход сточной воды, $\text{м}^3/\text{ч}$.

$$W = \frac{1,125 \cdot 1,5}{60} = 0,03 \text{ м}^3$$

Объем верхней части смесителя:

$$W_{\text{в}} = W - W_{\text{н}}, \quad (\Phi.9)$$

где W - полный объем смесителя, м^3 ;

$W_{\text{н}}$ - объем пирамидальной части смесителя, м^3 .

$$W_{\text{в}} = 0,03 - 0,005 = 0,025 \text{ м}^3$$

Высота верхней части смесителя:

$$h_{\text{в}} = \frac{W_{\text{в}}}{f_{\text{в}}}, \quad (\Phi.10)$$

где $W_{\text{в}}$ - объем верхней части смесителя, м^3 ;

$f_{\text{в}}$ - площадь горизонтального сечения в верхней части смесителя, м^2 .

$$h_{\text{в}} = \frac{0,025}{0,0125} = 2 \text{ м}$$

Полная высота смесителя:

$$h = h_{\text{в}} + h_{\text{н}}, \quad (\Phi.11)$$

где $h_{\text{в}}$ - высота верхней части смесителя, м;

$h_{\text{н}}$ - высота нижней части смесителя, м.

$$h = 2 + 0,11 = 2,11 \text{ м}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ X

Сбор воды периферийным лотком

Сбор воды производится в верхней части смесителя периферийным лотком через затопленные отверстия.

Расход воды в лотке:

$$q_{\text{л}} = \frac{q_{\text{ч}}}{2}, \quad (\text{X.1})$$

где $q_{\text{ч}}$ - часовой расход сточной воды, $\text{м}^3/\text{ч}$.

$$q_{\text{л}} = \frac{1,125}{2} = 0,5625 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Площадь живого сечения сборного лотка:

$$\omega_{\text{л}} = \frac{q_{\text{л}}}{3600 \cdot V_{\text{л}}}, \quad (\text{X.2})$$

где $V_{\text{л}} = 0,6$ - скорость движения воды в лотке, $\text{м}/\text{с}$;

$q_{\text{л}}$ - расход воды в лотке, $\text{м}^3/\text{ч}$.

$$\omega_{\text{л}} = \frac{0,5625}{3600 \cdot 0,6} = 0,0003 \text{ м}^2$$

Высота слоя воды в лотке:

$$h_{\text{л}} = \frac{\omega_{\text{л}}}{B_{\text{л}}}, \quad (\text{X.3})$$

где $B_{\text{л}} = 0,02$ - ширина лотка, м ;

$\omega_{\text{л}}$ - площадь живого сечения сборного лотка, м^2 .

$$h_{\text{л}} = \frac{0,0003}{0,02} = 0,015 \text{ м}$$

Площадь затопленных отверстий в стенках лотка:

$$F_0 = \frac{q_{\text{ч}}}{V_0 \cdot 3600}, \quad (\text{X.4})$$

где $V_0 = 1$ - скорость движения воды через отверстия, м/с;
 $q_{\text{ч}}$ - часовой расход сточной воды, м³/ч.

$$F_0 = \frac{1,125}{1 \cdot 3600} = 0,000313 \text{ м}^2$$

Площадь одного отверстия:

$$f_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}, \quad (\text{X.5})$$

где $d_0 = 5 \text{ мм}$ - диаметр отверстия.

$$f_0 = \frac{3,14 \cdot 0,005^2}{4} = 0,0000196 \text{ м}^2$$

Общее количество отверстий:

$$n_0 = \frac{F_0}{f_0}, \quad (\text{X.6})$$

где F_0 - площадь затопленных отверстий в стенках лотка, м²;
 f_0 - площадь одного отверстия, м².

$$n_0 = \frac{0,000313}{0,0000196} \approx 16 \text{ отверстий.}$$

Внутренний периметр лотка:

$$P_{\text{л}} = b_{\text{с}} \cdot 4, \quad (\text{X.7})$$

где $b_{\text{с}}$ - сторона квадратной верхней части смесителя, м.

$$P_{\text{л}} = 0,112 \cdot 4 = 0,448 \text{ м}$$

Шаг отверстий:

$$l_0 = \frac{P_{\text{л}}}{n_0}, \quad (\text{X.8})$$

где $P_{\text{л}}$ - внутренний периметр лотка, м;
 n_0 - общее количество отверстий, шт.

$$l_0 = \frac{0,448}{16} = 0,028 м$$

Расстояния между отверстиями:

$$l = l_0 - d_0, \tag{X.9}$$

где l_0 - шаг отверстий, м;

d_0 - диаметр отверстия, 0,005 м.

$$l = 0,028 - 0,005 = 0,023 м$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Ц

Технико-экономический расчет

Ц.1 Капитальные вложения при реализации различных инвестиционных проектов

Для выбора рационального метода очистки сточных вод необходимо определить основные параметры инвестиционной деятельности:

- объем инвестиций в основной капитал (КВ);
- продолжительность и интенсивность их осуществления по периодам строительства.

Выбор более экономичного варианта происходит на основе сравнения суммарно-денежных потоков от инвестиционной и операционной деятельности нескольких вариантов:

- 1) Технологическая схема очистки сточной воды от ионов шестивалентного хрома с применением электрокоагуляционного метода;
- 2) Технологическая схема очистки сточной воды от ионов шестивалентного хрома путем фильтрования через железную стружку;
- 3) Технологическая схема очистки сточной воды от ионов шестивалентного хрома с применением реагентного метода.

Сравнивая себестоимость вариантов, выбирается наиболее рациональная схема очистки хромсодержащих сточных вод.

В таблицу Ц.1.1 записываем потребность в капитальных вложениях на реализацию различных инвестиционных проектов системы очистки сточных вод производительностью 9 м³/сут.

Таблица Ц.1.1 – Капитальные вложения при реализации различных инвестиционных проектов

№	Наименование оборудования	Стоимость ед. оборудования, тыс. руб.	Инвестиционные проекты					
			Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
			Количество	Общая стоимость, тыс.руб.	Количество	Общая стоимость, тыс.руб.	Количество	Общая стоимость, тыс.руб.
1	Резервуар-усреднитель W=5,5м ³	27,2	1	27,2	1	27,2	1	27,2
2	Воздуходувка ВК-1,5М1	58	2	116	2	116	2	116
3	Насос ВК 1/16А	11	6	66	6	66	6	66
4	Фильтр-грязевик V821-050	3,28	2	6,56	2	6,56	-	-
5	Электролизер	9,694	3	29,082	-	-	-	-
6	Бак - дозатор H ₂ SO ₄ W=0,001м ³	0,05	2	0,1	2	0,1	-	-
7	Бак - дозатор Ca(OH) ₂ W=0,003м ³	0,1	2	0,2	2	0,2	-	-

Продолжение таблицы Ц.1.1

№	Наименование оборудование	Стоимость ед. оборудования, тыс. руб.	Инвестиционные проекты					
			Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
			Количество	Общая стоимость, тыс.руб.	Количество	Общая стоимость, тыс.руб.	Количество	Общая стоимость, тыс.руб.
8	Вихревая камера реакции W=0,028 м ³	2,138	1	2,138	1	2,138	-	-
9	Вертикальный отстойник с т.м. со встроенной водоворотной камерой хлопьеобразования	15,45	1	15,45	1	15,45	1	15,45
10	Фильтр с плавающей загрузкой	2,55	3	7,65	3	7,65	3	7,65
11	Сорбционный фильтр	3,2	3	9,6	3	9,6	3	9,6
12	Насос промывной воды ВКС 2/26	17,8	2	35,6	2	35,6	2	35,6
13	Шламоуплотнитель	28,84	1	28,84	1	28,84	1	28,84
14	Насос для перекачки осадка в центрифугу марки ВК 1/16А	11	2	22	2	22	2	22
15	Центрифуга	9,4	1	9,4	1	9,4	1	9,4
16	Резервуар чистой воды W=2,1 м ³	14,7	1	14,7	1	14,7	1	14,7
17	Фильтр, загруженный стружкой	7,8	-	-	1	7,8	-	-
18	Расходный бак коагулянта W=0,15 м ³	2,85	-	-	-	-	1	2,85
19	Растворный бак коагулянта W=0,06 м ³	2,51	-	-	-	-	1	2,51
20	Воздуходувка ВК-0,75	19,5	2	39	2	39	4	78
21	Склад коагулянта 0,5 м ²	1,5	-	-	-	-	1	1,5
22	Склад извести 0,5 м ²	1,5	1	1,5	1	1,5	1	1,5
21	Вертикальный вихревой смеситель	2,138	-	-	-	-	1	2,138
22	Тонкослойный отстойник (резервуар промывной воды) W=2,1 м ³	17,2	1	17,2	1	17,2	1	17,2
23	Насос дозатор реагентов НД 400/10	35	-	-	-	-	2	70
24	Насос дозатор кислоты НД 100/10	27	2	54	2	54	-	-
25	Насос дозатор щелочи НД 100/10	27	2	54	2	54	2	54
26	Емкость для приготовления известкового молока W=0,072м ³	3,18	-	-	-	-	1	3,18
27	Емкость для хранения промывной воды	7	1	7	1	7	1	7

Окончание таблицы Ц.1.1

№	Наименование оборудования	Стоимость ед. оборудования, тыс. руб.	Инвестиционные проекты					
			Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
			Количество	Общая стоимость, тыс.руб.	Количество	Общая стоимость, тыс.руб.	Количество	Общая стоимость, тыс.руб.
28	Насос для перекачки осадка из отстойника в шламоуплотнитель марки ВК 1/16А	11	2	22	2	22	2	22
29	Резервуар для сбора осадка	7	1	7	1	7	1	7
	Всего капитальных вложений, тыс. руб.		Σ	592,22	Σ	570,94	Σ	621,32

Ц.2 Расчет годовых эксплуатационных затрат

Годовые эксплуатационные затраты, связанные с функционированием системы очистки, представляют собой текущие издержки промышленного предприятия и состоят из следующих элементов годовых затрат:

$$\mathcal{E} = \mathcal{Z}_{\text{З/ПЛ}} + \mathcal{Z}_{\text{РЕАГ.}} + \mathcal{Z}_{\text{ЭЛ./ЭН}} + \mathcal{Z}_{\text{ТЕП.ЭН.}} + \mathcal{Z}_{\text{ТЕК.РЕМ.}} + \mathcal{Z}_{\text{Виб}} + \mathcal{Z}_{\text{АМОРТ.}} + \mathcal{Z}_{\text{ПР.}}, \quad (\text{Ц.2.1})$$

где $\mathcal{Z}_{\text{З/ПЛ}}$ – заработная плата обслуживающего персонала с отчислениями на социальное страхование, тыс.руб.;

$\mathcal{Z}_{\text{РЕАГ.}}$ – стоимость реагентов и других строительных материалов, тыс. руб.;

$\mathcal{Z}_{\text{ЭЛ./ЭН.}}$ – стоимость электроэнергии, тыс.руб.;

$\mathcal{Z}_{\text{ТЕП.ЭН.}}$ – стоимость тепловой энергии, тыс.руб.;

$\mathcal{Z}_{\text{ТЕК.РЕМ.}}$ –затраты на текущий ремонт оборудования, тыс.руб.;

$\mathcal{Z}_{\text{Виб}}$ – стоимость воды, использованной на собственные нужды, тыс.руб.;

$\mathcal{Z}_{\text{АМОРТ.}}$ – амортизационные отчисления, тыс.руб.;

$\mathcal{Z}_{\text{ПР.}}$ – прочие затраты, тыс.руб.

Ц.3 Расчет расходов на заработную плату с отчислениями на социальное страхование

Расходы на заработную плату обслуживающего персонала определяются умножением численности обслуживающего персонала на показатель среднегодовой заработной платы, рассчитанной на одного работающего соответствующей категории с учетом районного коэффициента. При численности обслуживающего персонала очистных сооружений 2 человека годовой фонд оплаты труда с учетом всех социальных отчислений составит:

$$\mathcal{Z}_{\text{З/ПЛ}} = 12 \cdot \mathcal{Z}_{\text{СР,З/ПЛ}} \cdot K_{\text{С}} \cdot K_{\text{Р}} \cdot n, \quad (\text{Ц.3.1})$$

где 12 - количество месяцев в году;

K_p – районный коэффициент, 1,6;

K_c – коэффициент отчислений от суммы заработной платы, 1,13;

n – число рабочих;

$Z_{ср.з/пл.}$ – средняя заработная плата в месяц, 12000 руб./мес.

$$Z_{з/пл.} = 12 \cdot 12000 \cdot 1,13 \cdot 1,6 \cdot 2 = 520,704 \text{ тыс.руб./год}$$

Для всех трех рассчитываемых схем очистки сточных вод количество обслуживающего персонала равно 2. Соответственно затраты на заработную плату для всех схем будут одинаковые.

Ц.4 Расчет стоимости необходимой электроэнергии

Общая потребляемая мощность оборудования представлена в таблице Ц.4.1.

Таблица Ц.4.1 - Потребляемая мощность оборудования очистных сооружений

№ п/п	Наименование оборудования	Мощность, кВт	Инвестиционные проекты					
			Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
			Количество шт.	Общая сумма, т.руб.	Количество шт.	Общая сумма, т.руб.	Количество шт.	Общая сумма, т.руб.
1	Воздуходувка ВК-1,5М1	5,5	1	5,5	1	5,5	1	5,5
2	Насос ВК 1/16А	1,2	3	3,6	3	3,6	3	3,6
3	Электролизер	1,5	3	4,5	-	-	-	-
4	Насос промывной воды ВКС 2/26	2,2	1	2,2	1	2,2	1	2,2
5	Насос ВК 1/16А	1,2	1	1,2	1	1,2	1	1,2
6	Центрифуга	5,5	1	5,5	1	5,5	1	5,5
8	Воздуходувка ВК-0,75	3	1	3	1	3	2	6
9	Насос дозатор реагентов НД 400/10	1,5	-	-	-	-	2	3
10	Насос дозатор кислоты НД 100/10	0,25	2	0,5	2	0,5	-	-

Окончание таблицы Ц.4.1

№ п/п	Наименование оборудования	Мощ ность, кВт	Инвестиционные проекты					
			Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
			Количе ство шт.	Общая сумма, т.руб.	Количе ство шт.	Общая сумма, т. руб.	Количе ство шт.	Общая сумма, т. руб.
11	Насос дозатор щелочи НД 100/10	0,25	2	0,5	2	0,5	2	0,5
12	Мешалка для приготовления известкового молока	0,3	-	-	-	-	1	0,3
13	Насос ВК 1/16А	1,2	1	1,2	1	1,2	1	1,2
			Σ	27,7	Σ	23,2	Σ	29

Самым энергоемким инвестиционным проектом на основании таблицы Ц.4.1 является реагентный метод.

Установленная мощность рассчитывается по формуле

$$N = \frac{P \cdot K_0 \cdot N}{\cos \phi}, \quad (\text{Ц.4.1})$$

где Р – коэффициент, учитывающий трансформаторный резерв, 1,5;
 K_0 - коэффициент, учитывающий электроосветильную нагрузку, 1,05;
 N - мощность всех рабочих электроприемников, кВт;
 $\cos \phi$ - коэффициент мощности электродвигателя, 0,9.

$$N_1 = \frac{1,5 \cdot 1,05 \cdot 27,7}{0,9} = 48,5 \text{ кВт}$$

$$N_2 = \frac{1,5 \cdot 1,05 \cdot 23,2}{0,9} = 40,6 \text{ кВт}$$

$$N_3 = \frac{1,5 \cdot 1,05 \cdot 29}{0,9} = 50,8 \text{ кВт}$$

Так как полученные значения меньше 750 кВт, то в расчетах принимаем одноставочный тариф.

Годовой расход потребляемой электроэнергии рассчитывается по формуле

$$C_{эл.} = \frac{\sum W \cdot T_1}{10^5}, \quad (Ц.4.2)$$

где $\sum W$ - количество активной электроэнергии, кВт;

T - число часов работы оборудования в течение года, $T = 260 \cdot 8 = 2080$ ч.

Определяем количество активной энергии по формуле

$$\sum W_i = N_i \cdot T \cdot t_{см}, \quad (Ц.4.3)$$

где T – число дней работы оборудования в течение года, $T = 260$ сут;

$t_{см}$ – количество рабочих часов в сутки при работе в 1 смену, 8 ч;

N_i - мощность всех рабочих электроприемников, кВт.

$$\sum W_1 = 48,5 \cdot 260 \cdot 8 = 100,9 \text{ тыс.кВт}\cdot\text{ч/год}$$

$$\sum W_2 = 40,6 \cdot 260 \cdot 8 = 84,4 \text{ тыс.кВт}\cdot\text{ч/год}$$

$$\sum W_3 = 50,8 \cdot 260 \cdot 8 = 105,7 \text{ тыс.кВт}\cdot\text{ч/год}$$

Затраты на электроэнергию вычислим по формуле

$$З_{эл.}^i = \sum W_i \cdot T_1, \quad (Ц.4.4)$$

где T_1 – ставка за электроэнергию, одноставочный тариф $T_1 = 2,47$ руб./кВт·ч.

$$З_{эл.}^1 = 100,9 \cdot 2,47 = 249,2 \text{ тыс.руб./год}$$

$$З_{эл.}^2 = 84,4 \cdot 2,47 = 208,5 \text{ тыс.руб./год}$$

$$З_{эл.}^3 = 105,7 \cdot 2,47 = 261,1 \text{ тыс.руб./год}$$

$$C_{эл.}^1 = \frac{249200 \cdot 2080}{10^5} = 5183,4 \text{ кВт/год}$$

$$C_{эл.}^2 = \frac{208500 \cdot 2080}{10^5} = 4336,8 \text{ кВт/год}$$

$$C_{эл.}^3 = \frac{261100 \cdot 2080}{10^5} = 5430,9 \text{ кВт/год}$$

В таблице Ц.4.2 сведены расчеты по количеству потребляемой электроэнергии для разных схем очистки сточных вод.

Таблица Ц.4.2 - Потребляемая электроэнергия

№ варианта	Установленная мощность, кВт	Годовое потребление, кВт/год	Стоимость электроэнергии, тыс.руб./год
вариант 1	48,5	5183,4	249,2
вариант 2	40,6	4336,8	208,5
вариант 3	50,8	5430,9	261,1

Ц.5 Расчет затрат на текущий ремонт

Затраты на текущий ремонт принимаются в размере 1% от сметной стоимости сооружений:

$$З_{ТЕК.РЕМ.} = 0,01 \cdot KB, \quad (Ц.5.1)$$

где KB - капитальные вложения, тыс.руб. (таблица Р.1.1).

$$З_{ТЕК.РЕМ.}^1 = 0,01 \cdot 592,22 = 5,92 \text{ тыс.руб./год}$$

$$З_{ТЕК.РЕМ.}^2 = 0,01 \cdot 570,94 = 5,71 \text{ тыс.руб./год}$$

$$З_{ТЕК.РЕМ.}^3 = 0,01 \cdot 621,32 = 6,2 \text{ тыс.руб./год}$$

Ц.6 Расчет стоимости воды, использованной на собственные нужды

По этой статье учитываются затраты по стоимости воды на хозяйственно-питьевые и технические нужды.

Годовое потребление воды определяется по формуле

$$N_{год} = N_q \cdot T \cdot Q, \quad (Ц.6.1)$$

где N_q - число рабочих, чел.;

T – число дней работы в течение года, $T = 260$ сут;

Q - норма водопотребления на 1 человека, 25 л/сут.

Для всех вариантов годовое потребление воды будет составлять:

$$N_{год} = 2 \cdot 260 \cdot 25 = 13000 \text{ л/год} = 13 \text{ м}^3$$

Стоимость услуг водоснабжения рассчитывают по формуле

$$З_B = N_{год} \cdot T_B, \quad (\text{Ц.6.2})$$

где $N_{год}$ – годовое потребление воды обслуживающим персоналом, м³/год;
 T_B – тариф на питьевую воду, руб./м³.

$$З_B = 13 \cdot 13 = 169 \text{ руб. / год} = 0,169 \text{ тыс.руб. / год}$$

Стоимость услуг водоотведения:

$$З_{B/B} = N_{год} \cdot T_B, \quad (\text{Ц.6.3})$$

где $N_{год}$ – годовое потребление воды обслуживающим персоналом, м³/год;
 T_B – тариф на услуги канализования, руб./м³.

$$З_{B/B} = 13 \cdot 8,45 = 109,85 \text{ руб. / год} = 0,11 \text{ тыс.руб. / год}$$

Суммарная стоимость услуг водоснабжения и водоотведения:

$$З_{BuB} = C_B + C_{B/B}, \quad (\text{Ц.6.4})$$

где $З_B$, $З_{B/B}$ – стоимость услуг водоснабжения и водоотведения соответственно, тыс. руб./год;

$$З_{BuB} = 0,169 + 0,11 = 0,279 \text{ тыс.руб. / год}$$

Ц.7 Расчет затрат на теплообеспечение

Для определения затрат на теплообеспечение, принимаем 30% стоимости электроэнергии:

$$З^i_{ТЕП,ЭН} = 0,3 \cdot З_{ЭЛ/ЭН}, \quad (\text{Ц.7.1})$$

где $З_{ЭЛ/ЭН}$ – годовые затраты на электроэнергию, тыс. руб./год.

$$З^1_{ТЕП,ЭН} = 0,3 \cdot 249,2 = 74,76 \text{ тыс.руб. / год}$$

$$З^2_{ТЕП,ЭН} = 0,3 \cdot 208,5 = 62,55 \text{ тыс.руб. / год}$$

$$З_{ТЕП.ЭН.}^3 = 0,3 \cdot 261,1 = 78,33 \text{ тыс.руб. / год}$$

Ц.8 Расчет затрат на амортизационные отчисления

Амортизационные отчисления по очистным сооружениям составляют 20% от капитальных вложений рассчитанных в таблице Ц.1.1:

$$З_{АМОРТ.} = 0,2 \cdot KB, \quad (\text{Ц.8.1})$$

где KB - капитальные вложения, тыс.руб.

$$З_{АМОРТ.}^1 = 0,2 \cdot 592,22 = 118,4 \text{ тыс.руб./год}$$

$$З_{АМОРТ.}^2 = 0,2 \cdot 570,94 = 114,2 \text{ тыс.руб./год}$$

$$З_{АМОРТ.}^3 = 0,2 \cdot 621,32 = 124,3 \text{ тыс.руб./год}$$

Ц.9 Расчет прочих затрат

Прочие затраты принимаются в размере 20% от суммы амортизационных отчислений и заработной платы обслуживающего персонала:

$$З_{ПР.} = 0,2 \cdot (З_{З/ПЛ.} + З_{АМОРТ.}), \quad (\text{Ц.9.1})$$

где $З_{З/ПЛ.}$ - затраты на заработную плату обслуживающего персонала, тыс.руб./год;

$З_{АМОРТ.}$ - затраты на амортизационные отчисления, тыс. руб./год.

$$З_{ПР.}^1 = 0,2 \cdot (520,704 + 118,4) = 127,8 \text{ тыс.руб./год.}$$

$$З_{ПР.}^2 = 0,2 \cdot (520,704 + 114,2) = 126,9 \text{ тыс.руб./год.}$$

$$З_{ПР.}^3 = 0,2 \cdot (520,704 + 124,3) = 129,1 \text{ тыс.руб./год.}$$

Ц.10 Расчет стоимости реагентов и материалов

В этой статье учитываются затраты на основные материалы, используемые при эксплуатации сооружений для очистки сточных вод. Реагенты, используемые в схемах приведены в таблице Ц.10.1 - Ц.10.3.

Таблица Ц.10.1 - Расчет стоимости реагентов и материалов для первой схемы очистки сточных вод электрокоагуляционным методом

Наименование	Количество, т/год	Стоимость 1т, тыс. руб.	Общие затраты тыс. руб./т
Гидроксид кальция	0,688	5,5	3,784
Серная кислота	0,936	6,3	5,897
Сталь 3	0,380	45	17,1
Гранулы полистирола	0,00147	83,5	0,123
Активированный уголь марки БД	0,029988	85	2,55
Итого			$\Sigma 29,454$

Таблица Ц.10.2 - Расчет стоимости реагентов и материалов для второй схемы очистки сточных вод путем фильтрования через железную стружку

Наименование	Количество, т/год	Стоимость 1т, тыс. руб.	Общие затраты тыс. руб./т
Гидроксид кальция	0,688	5,5	3,784
Серная кислота	0,936	6,3	5,897
Гранулы полистирола	0,00147	83,5	0,123
Активированный уголь марки БД	0,029988	85	2,55
Итого			$\Sigma 12,354$

Таблица Ц.10.3 - Расчет стоимости реагентов и материалов для третьей схемы очистки сточных вод реагентным методом

Наименование	Количество, т/год	Стоимость 1т, тыс. руб.	Общие затраты тыс. руб./т
Гидроксид кальция	0,936	5,5	5,148
Коагулянт Na_2SO_3	1,67	23	38,41
Гранулы полистирола	0,00147	83,5	0,123
Активированный уголь марки БД	0,029988	85	2,55
ПАА	0,000702	210	0,147
Итого			$\Sigma 46,378$

На основании вышеприведенных расчетов эксплуатационные затраты составляют:

$$\mathcal{E}_1 = 520,704 + 29,454 + 249,2 + 74,76 + 5,92 + 0,279 + 118,4 + 127,8 = 1126,5 \text{ тыс. руб./год}$$

$$\mathcal{E}_2 = 520,704 + 12,354 + 207,5 + 62,55 + 5,71 + 0,279 + 114,2 + 126,9 = 1050,2 \text{ тыс. руб./год}$$

$$\mathcal{E}_3 = 520,704 + 46,378 + 261,1 + 78,33 + 6,2 + 0,279 + 124,3 + 129,1 = 1166,4 \text{ тыс. руб./год}$$

Ц.11 Расчет приведенных затрат

Экономическое обоснование инженерных мероприятий по охране водных ресурсов от загрязнений может быть связано с определением предотвращенного ущерба, который наносится окружающей среде попаданием загрязненных сточных вод в водоемы и почву.

Экономический ущерб от загрязнения водных ресурсов можно выразить определенной суммой капитальных и текущих затрат, поэтому в качестве критерия оценки ущерба используют приведенные затраты.

Приведенные затраты (P_i), представляют собой сумму текущих (эксплуатационных) затрат (\mathcal{E}) и единовременных (капитальных) вложений (KB), сведенных к одинаковой годовой закономерности в соответствии с установленным нормативным коэффициентом эффективности (E).

Приведенные затраты рассчитываются по формуле

$$P_i = \mathcal{E} + E \cdot KB, \quad (\text{Ц.11.1})$$

где \mathcal{E} - эксплуатационные затраты, тыс.руб.;

E - коэффициент дисконтирования или абсолютный показатель экономической эффективности капитальных вложений, $E = 0,18$;

KB - капитальные вложения, тыс.руб.

$$P_1 = 1126,5 + 0,18 \cdot 592,22 = 1233,1 \text{ тыс.руб.}$$

$$P_2 = 1050,2 + 0,18 \cdot 570,94 = 1152,9 \text{ тыс.руб.}$$

$$P_3 = 1166,4 + 0,18 \cdot 621,32 = 1278,2 \text{ тыс.руб.}$$

Ц.12 Расчет себестоимости очистки 1 м³ воды

Себестоимость очистки 1 м³ воды определяется по формуле

$$C_C^i = \frac{\mathcal{E}_i}{Q_{\text{год}}}, \quad (\text{Ц.12.1})$$

где $Q_{\text{год}}$ – годовое количество очищаемой воды, 2340 м³/год;

\mathcal{E}_i - эксплуатационные затраты, тыс. руб.

$$C_C^1 = \frac{1126,5}{2340} = 0,48 \text{ тыс.руб./м}^3$$

$$C_c^2 = \frac{1050,2}{2340} = 0,45 \text{ тыс.руб./м}^3$$

$$C_c^3 = \frac{1166,4}{2340} = 0,50 \text{ тыс.руб./м}^3$$

Ц.13 Расчет эффективности инвестиций

Сравнение вариантов технических решений, отличающихся друг от друга размером инвестиционных вложений и эксплуатационных расходов производится путем расчета модифицированной суммы приведенных строительно-эксплуатационных затрат.

Эффективность инвестиций определяется по формуле

$$З_{\Pi}^i = \sum_{t=0}^T \frac{KB + E \cdot З_t}{(1 + E)^t}, \quad (\text{Ц.13.1})$$

где $З_t$ – сумма текущих затрат, тыс. руб.;

E – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, 0,18;

KB – капитальные вложения, тыс.руб.;

T – период расчета, 6 лет.

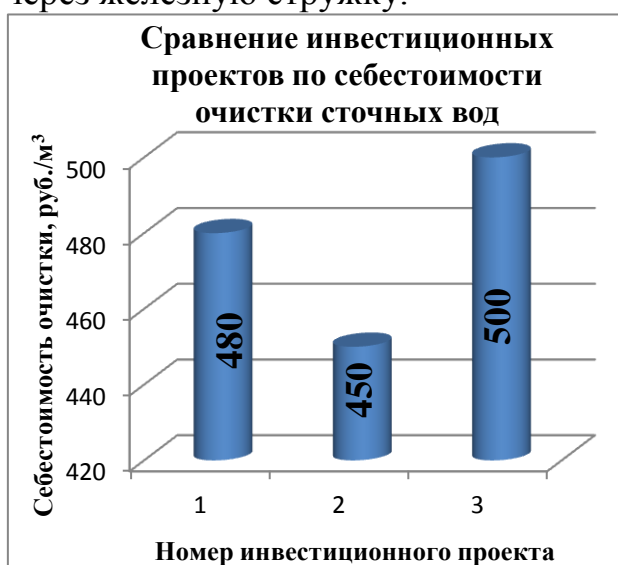
$$\begin{aligned} З_{\Pi}^1 = & \frac{592,22 + 0,18 \cdot 5,92}{(1 + 0,18)^1} + \frac{592,22 / 5 + 0,18 \cdot (5,92 - 5,92 / 5)}{(1 + 0,18)^2} + \frac{592,22 / 5 + 0,18 \cdot (5,92 - 2 \cdot 5,92 / 5)}{(1 + 0,18)^3} + \\ & + \frac{592,22 / 5 + 0,18 \cdot (5,92 - 3 \cdot 5,92 / 5)}{(1 + 0,18)^4} + \frac{592,22 / 5 + 0,18 \cdot (5,92 - 4 \cdot 5,92 / 5)}{(1 + 0,18)^5} + \\ & + \frac{592,22 / 5 + 0,18 \cdot (5,92 - 5 \cdot 5,92 / 5)}{(1 + 0,18)^6} = 818,01 \text{ тыс.руб.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} З_{\Pi}^2 = & \frac{570,94 + 0,18 \cdot 5,71}{(1 + 0,18)^1} + \frac{570,94 / 5 + 0,18 \cdot (5,71 - 5,71 / 5)}{(1 + 0,18)^2} + \frac{570,94 / 5 + 0,18 \cdot (5,71 - 2 \cdot 5,71 / 5)}{(1 + 0,18)^3} + \\ & + \frac{570,94 / 5 + 0,18 \cdot (5,71 - 3 \cdot 5,71 / 5)}{(1 + 0,18)^4} + \frac{570,94 / 5 + 0,18 \cdot (5,71 - 4 \cdot 5,71 / 5)}{(1 + 0,18)^5} + \\ & + \frac{570,94 / 5 + 0,18 \cdot (5,71 - 5 \cdot 5,71 / 5)}{(1 + 0,18)^6} = 788,63 \text{ тыс.руб.} \end{aligned}$$

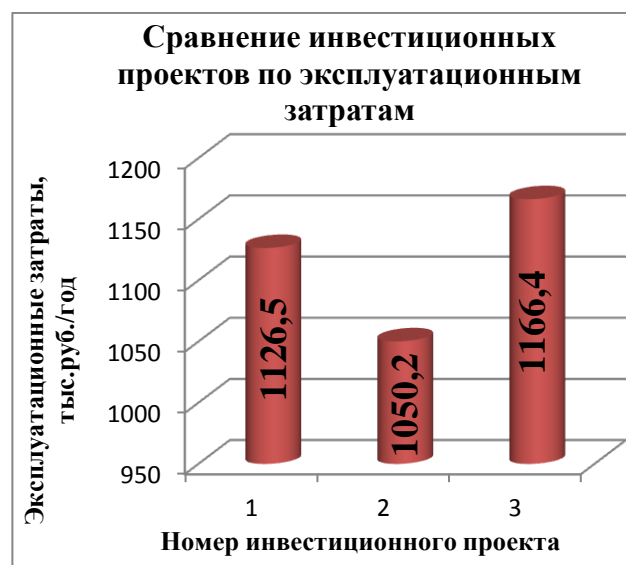
$$Z_n^3 = \frac{621,32 + 0,18 \cdot 6,2}{(1 + 0,18)^1} + \frac{621,32 / 5 + 0,18 \cdot (6,2 - 6,2 / 5)}{(1 + 0,18)^2} + \frac{621,32 / 5 + 0,18 \cdot (6,2 - 2 \cdot 6,2 / 5)}{(1 + 0,18)^3} + \frac{621,32 / 5 + 0,18 \cdot (6,2 - 3 \cdot 6,2 / 5)}{(1 + 0,18)^4} + \frac{621,32 / 5 + 0,18 \cdot (6,2 - 4 \cdot 6,2 / 5)}{(1 + 0,18)^5} + \frac{621,32 / 5 + 0,18 \cdot (6,2 - 5 \cdot 6,2 / 5)}{(1 + 0,18)^6} = 858,22 \text{ тыс. руб.}$$

Ц.14 Техничко-экономический анализ сравниваемых вариантов очистки хромсодержащих сточных вод

В таблице Ц.14.1 и на рисунке Ц.14.1 приведены технико-экономические показатели сравниваемых вариантов очистки хромсодержащих сточных вод, из которых видно, что наиболее рациональным вариантом является технологическая схема с применением в качестве метода очистки фильтрование через железную стружку.



а)



б)



в)



г)



д)

Рисунок Ц.14.1 - Гистограмма: а) себестоимость очистки 1 м³ сточной воды, б) эксплуатационные затраты, в) капитальные вложения, г) модифицированные приведенные затраты, д) приведенные затраты

Таблица Ц.14.1 - Сводная таблица технико-экономических показателей сравниваемых вариантов

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	Инвестиционные проекты		
			Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
1	2	3	4	5	6
1	Капитальные вложения	тыс. руб.	592,22	570,94	621,32
2	Эксплуатационные затраты	тыс. руб./год	1126,5	1050,2	1166,4
3	Приведенные затраты	тыс. руб.	1233,1	1152,9	1278,2
4	Себестоимость очистки	руб./м ³	480	450	500
5	Модифицированные приведенные затраты	тыс.руб.	818,01	788,63	858,22

Вариант 1 – технологическая схема электрокоагуляционной очистки хромсодержащих сточных вод.

Вариант 2 – технологическая схема фильтрования сточных вод через железную стружку.

Вариант 3 – технологическая схема реагентной очистки хромсодержащих сточных вод.

Ц.15 Размер вреда от сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод

Предприятие имеет производительность $Q = 9 \text{ м}^3/\text{сут.}$ Качественный состав воды металлургического производства приведен в таблице Ц.15.1.

Таблица Ц.15.1 – Качественный состав сточных вод промышленного предприятия

Показатели	Концентрация фактическая, мг/ дм ³
Взвешенные вещества, мг/дм ³	50
Хром, Cr ⁺⁶ , мг/дм ³	95

Перед сбросом в водный источник сточная вода должна пройти очистку на локальных очистных сооружениях (ЛОС), так как должна соответствовать определенному качеству. Очищенная сточная вода не должна наносить вред источнику, куда производится сброс сточной воды, и всем его обитателям. Предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ в сточной воде перед сбросом в городскую сеть проанализированы в соответствии с [72] и [73] результаты сведены в таблицу Ц.15.2.

Таблица Ц.15.2 – Предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ в сточной воде перед сбросом в источник

Показатели	Концентрация фактическая, мг/ дм ³	ПДК, мг/ дм ³	Класс опасности
Взвешенные вещества, мг/дм ³	50	5,25	4
Хром Cr ⁺⁶ , мг/дм ³	95	0,05	3

Влияние на водоем сточных вод металлургических заводов определяется не только их большим количеством воды, но и качественным составом, которое образуется по ходу технологического процесса. Поэтому при спуске сточных вод, где значительное разбавление не может быть обеспечено, должны быть предъявлены особенно строгие меры к их очистке.

При недостаточной очистке стоков, химические соединения могут попасть в организм человека, животных, а также других живых существ.

Ц.16 Расчет массы сброшенных загрязняющих веществ

Масса сброшенных загрязняющего вещества в составе сточных вод [74] при наличии документов на право пользования водными объектами и иных разрешительных документов, предусмотренных законодательством РФ:

$$M_i = Q \cdot (C_{\phi i} - C_{\partial i}) \cdot T \cdot 10^{-6}, \text{ т}, \quad (\text{Ц.16.1})$$

где i – загрязняющее вещество, по которому исчисляется размер вреда;

Q – расход сточных вод с превышением содержания i -го загрязняющего вещества $\text{м}^3/\text{ч}$;

$C_{\phi i}$ – средняя фактическая за период сброса концентрация i -го загрязняющего вещества в сточных водах, определяемая по результатам анализов аккредитованной лаборатории как средняя арифметическая из общего количества результатов анализов (не менее 3-х) за период времени T , мг/л ;

$C_{\partial i}$ – допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества, мг/л ;

T – продолжительность сброса сточных вод с повышенным содержанием загрязняющих веществ, с момента обнаружения сброса до его прекращения, ч;

10^{-6} – коэффициент перевода массы загрязняющего вещества в тонны.

$$M_{\text{ВЗВ.В.}} = 1,125 \cdot (50 - 5,25) \cdot 8 \cdot 10^{-6} = 0,00040275 \text{ т}$$

$$M_{\text{Cr}^{+6}} = 1,125 \cdot (95 - 0,05) \cdot 8 \cdot 10^{-6} = 0,00080955 \text{ т}$$

Ц.17 Размер вреда от сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод

Размер вреда, причиненного водному объекту сбросом загрязняющих веществ в составе сточных вод определяется по формуле

$$V = K_{\text{в}} \cdot K_{\text{вг}} \cdot K_{\text{ин}} \cdot \sum_{i=1}^n (H_i \cdot M_i) \cdot K_{\text{из}}, \text{ тыс. руб.}, \quad (\text{Ц.17.1})$$

где $K_{\text{в}}$ – коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние водных объектов), определяется в соответствии с таблицей 1[74] $K_{\text{в}} = 1,36$;

$K_{\text{вг}}$ – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года, в соответствии с таблицей 2[74] $K_{\text{вг}} = 1,1$;

$K_{\text{ин}}$ – коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития $K_{\text{ин}} = 2,45$;

H_i – таксы для исчисления размера вреда от сброса i -го загрязняющего вещества в водные объекты определяются в соответствии с таблицей Б1 (прил. Б), тыс. руб./т [74];

M_i – масса сброшенного i -го загрязняющего вещества определяется по каждому загрязняющему веществу, т, в соответствии с разделом 3[74];

$K_{из}$ – коэффициент, учитывающий интенсивность негативного воздействия загрязняющих веществ на водный объект.

$$Y_{ВЗВ,В} = 1,36 \cdot 1,1 \cdot 2,45 \cdot 0,00040275 \cdot 30 \cdot 1 = 0,044 \text{ тыс.руб.}$$

$$Y_{Cr^{+6}} = 1,36 \cdot 1,1 \cdot 2,45 \cdot 0,00080955 \cdot 670 \cdot 5 = 9,94 \text{ тыс.руб.}$$

Коэффициент $K_{из}$ учитывает интенсивность негативного воздействия загрязняющих веществ на водный объект, Устанавливается в зависимости от кратности превышения фактической концентрации загрязняющего вещества при сбросе на выпуске сточных вод над его фоновой концентрацией в воде водного объекта.

Коэффициент $K_{из}$ принимается: для загрязняющих веществ III и IV классов опасности – равно 1 при превышениях до 10 раз; равно 2 при превышениях более 10 и до 50 раз; равно 5 при превышениях более 50 раз.

Расчет ведется в табличной форме, результаты сведены в таблицу Ц.17.2.

Таблица Ц.17.2 – Размер вреда от сброшенных веществ

Показатели	Класс опасности	ПДК, $C_{дi}$, мг/дм ³	Концентрация фактическая $C_{фi}$, мг/дм ³	$\frac{C_{фi}}{C_{дi}}$ превышение	Масса сброшенных загрязняющих веществ, M_i , т	Такса, H , тыс.руб./т	$K_{из}$	Размер вреда от сброса загрязняющего вещества Y , тыс. руб./сут.
Взвешенные вещества, мг/дм ³	4	5,25	50	9,5	0,00040275	30	1	0,044
Хром, Cr^{+6} , мг/дм ³	3	0,05	95	1900	0,00080955	670	5	9,94
					$\Sigma 0,0012123$			$\Sigma 9,984$

$$Y = 2595,84 \text{ тыс. руб. /год.}$$

На основании вышеприведенных расчетов можно сделать вывод, что установка локальных очистных сооружений является экономически выгодной, так как при сбросе сточных вод в водоем без очистки, размер вреда за сутки составляет 9,984 тыс.руб./сут., а в год соответственно - 2595,84 тыс.руб./год.

Производя анализ данных по себестоимости очистки сточных вод, а также вреда, наносимого водоему в результате сброса, можно уверенно сказать, что годовой ущерб от сброса сточных вод в разы превышает затраты, связанные с себестоимостью очистки: для первой схемы это превышение равно 2,31, для второй - 2,46 и третьей 2,22 раза (рисунок Ц.17.1).



Рисунок Ц.17.1 - Эффективность установки локальных очистных сооружений

ПРИЛОЖЕНИЕ Ш

Автоматизация оборудования очистной станции

Ш.1 Основы автоматизации и управления технологическими процессами

Программой экономического и социального развития нашей страны предусматривается дальнейшее широкое внедрение автоматизации производственных процессов. Широкое применение новейших средств автоматизации, микропроцессорной вычислительной техники и промышленных роботов различного назначения создает предпосылки для коренного совершенствования производственной деятельности человека.

Под автоматизацией производственных процессов понимается совокупность технических средств и методов, освобождающих человека в определенной степени или полностью от непосредственного выполнения функций контроля за этими процессами и управления ими.

Производственный процесс совершенствуется в три основные стадии: механизация этого процесса, заключающаяся в замене во всех его звеньях ручного труда машинным; введение в процесс непрерывности (поточности); автоматизация процесса.

Таким образом, автоматизация является высшей формой организации производственного процесса в целом, при этом совокупность технических средств, используемых для автоматизации процесса, совместно с объектом управления образуют систему управления. Система управления включает в себя приборы контроля, задачей которых является получение информации об изменении параметров производственного процесса в целом, при этом совокупность технических средств, используемых для автоматизации процесса, совместно с объектом управления образуют систему управления. Система управления включает в себя приборы контроля, задачей которых является получение информации об изменении параметров производственного процесса, то есть об изменении состояния объекта управления.

В нашей стране достигнуты большие успехи в разработке теории автоматического управления и технической кибернетики. Успеху в исследовании целого ряда новых теоретических проблем автоматики способствовало развитие теории информации и теории надежности. Важнейшее значение имеют исследования в области вычислительной математики и теории построения вычислительных машин. На основе этих теоретических исследований разработаны новые методы и технические средства автоматики.

Для автоматизации производственных процессов широко применяются микропроцессоры. С большой эффективностью используются промышленные роботы и автоматические манипуляторы. Создаются гибкие автоматизированные производства, позволяющие быструю переналадку оборудования, изменение технологического режима и выпуск новой

продукции. Большое развитие получают системы автоматизированного проектирования (САПР) и системы автоматического управления технологическими процессами (АСУ ТП).

По мере внедрения автоматики в производстве наблюдается переход от частичной автоматизации отдельных процессов к комплексной автоматизации всех производственных процессов и далее к полной автоматизации производства, протекающего без непосредственного участия обслуживающего персонала.

Автоматизация производства имеет большое социальное значение. Изменяя характер труда, автоматизация способствует повышению производительности, улучшению условий труда, повышению качества продукции. Экономическая эффективность автоматизации определяется снижением производственных затрат при одновременном повышении выпуска продукции [66].

Ш.2 Приборы и оборудование, автоматизация работы очистных сооружений

Для эффективной эксплуатации очистных сооружений их необходимо оснащать контрольно - измерительными приборами , предназначенными для измерения расхода, уровней, давления, температуры, плотности и вязкости жидкости, водородного показателя рН и т.д.

Контрольно - измерительные приборы могут быть снабжены устройствами для дистанционной передачи показаний на центральный диспетчерский пункт или подачи сигнала для включения того или иного устройства на очистных сооружениях .

Для автоматического регулирования расхода сточных вод следует применять манометры с электрической или пневматической передачей (мембранные дифманометры типа ДМ завода « Манометр », г . Москва и типа ДМ - 66 Московского завода тепловой автоматики): модели 3564 и 3566 (перепад 25-16 КПа) для измерения уровней в лотках и водосливах ; модель 3577 (перепад 40-630 КПа) для измерения перепада давления в сужающих устройствах .

Универсальным параметром многих процессов физико - химической и химической очистки сточных вод является водородный показатель рН , количественно равный отрицательному десятичному логарифму числа ионов водорода в сточной воде . Для его измерения рекомендуется использовать рН - метры типа рН - 261 Гомельского завода измерительных приборов . В их комплект входят датчик и высокоомный преобразователь с показывающим прибором .

В технологии очистки сточных вод следует применять погружные датчики с длиной рабочей части 1200, 1600 и 2000 мм . Показания измерительного прибора могут регистрироваться с помощью автоматических потенциометров типов ЭПД, ЭПП , НСП -4 и другие.

Эксплуатация всех контрольно - измерительных приборов должна осуществляться в соответствии со специальными заводскими инструкциями .

Объем автоматизации работы очистных сооружений должен определяться в зависимости от пропускной способности , состава сооружений и обосновываться технико - экономическим расчетом.

Ш.3 Автоматическое регулирование величины рН

Системы регулирования рН можно разделить на два типа в зависимости от требуемой точности регулирования.

Если скорость изменения величины рН невелика, а допустимые пределы ее колебаний достаточно широки, применяют позиционные АСР, поддерживающие рН в заданных пределах: $pH_n \leq pH \leq pH_v$.

Ко второму типу относятся системы, обеспечивающие регулирование процессов, в которых требуется точное поддержание рН на заданном уровне (например, в процессах нейтрализации воды). Для их регулирования используют непрерывные ПИ- или ПИД- регуляторы.

Общей особенностью объектов при регулировании рН является нелинейность их статических характеристик, связанная с нелинейной зависимостью рН от расходов реагентов. На рисунке Ш.3.1 показана кривая титрования, характеризующая зависимость рН от расхода реагента G. Для различных значений рН на этой кривой можно выделить три характерных участка I, II, III: первый (средний), относящийся к почти нейтральным средам, близок к линейному и характеризуется очень большим коэффициентом усиления; второй и третий участки, относящиеся к сильнощелочным или кислым средам, обладают наибольшей кривизной.

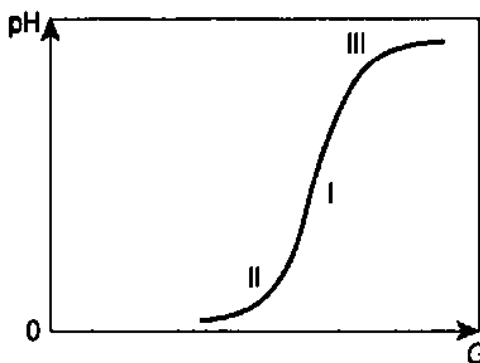


Рисунок Ш.3.1 – Зависимость величины рН от расхода реагента G

На первом участке объект по своей характеристике приближается к релейному элементу. Для обеспечения устойчивого регулирования применяют специальные системы. На рисунке Ш.3.2 показан пример АСР с двумя регулирующими клапанами.

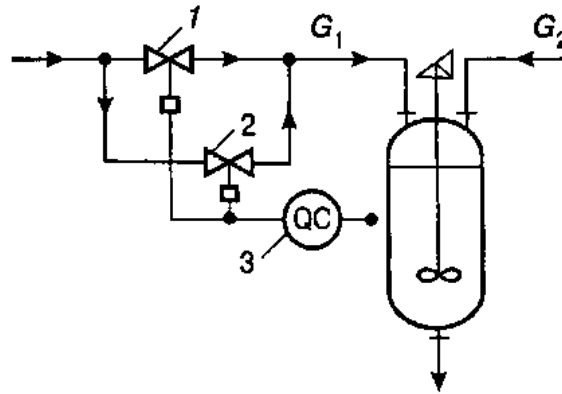


Рисунок Ш.3.2 – Схема системы регулирования pH: 1,2 — регулирующие клапаны; 3 — измеритель pH

Клапан 1, обладающий большим условным диаметром, служит для грубого регулирования расхода и настроен на максимальный диапазон изменения выходного сигнала регулятора ($X_{p,н}$, $X_{p,в}$). Этому диапазону соответствует кривая 1 (рисунок Ш.3.3). Клапан 2, служащий для точного регулирования, рассчитан на меньшую пропускную способность и настроен таким образом, что при $X_p = X_p^0 + \Delta$ - он полностью открыт, а при $X_p = X_p^0 - \Delta$ - полностью закрыт (кривая 2).

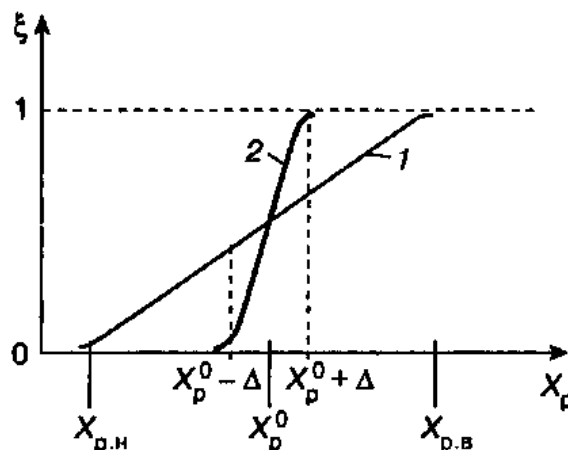


Рисунок Ш.3.3 –Статические характеристики клапанов

Таким образом, при незначительном отклонении pH от pH^0 , когда $(X_p^0 - \Delta) \leq X_p \leq (X_p^0 + \Delta)$, степень открытия клапана 1 практически не изменяется и регулирование ведется клапаном 2. Если $|X_p - X_p^0| > \Delta$, клапан 2 остается в крайнем положении и регулирование осуществляется клапаном 1.

На втором и третьем участках характеристики (рисунок Ш.3.1) ее линейная аппроксимация справедлива лишь в очень узком диапазоне изменения pH, и в реальных условиях ошибка регулирования за счет линеаризации может оказаться недопустимо большой. В этом случае более точные результаты дает кусочно-линейная аппроксимация, при которой линеаризованный объект имеет переменный коэффициент усиления, а автоматическая система регулирования должна быть дополнена еще одним регулятором. В зависимости от

рассогласования Δp_H в работу включается один из регуляторов, настроенный на соответствующий коэффициент усиления.

Ш.4 Автоматическая защита электродвигателя

Устройства автоматической защиты предназначены для предотвращения аварий в зданиях, где изменение условий работы инженерных систем может привести к возникновению аварийной ситуации. К числу таких потенциально опасных относятся системы, работающие в условиях интенсивного тепловыделения, при больших давлениях и температурах. Устройства автоматической защиты в подобных системах должны реагировать на нарушение нормального режима таким образом, чтобы предаварийное состояние не перешло в аварийное. Для этого обычно проводят защитные мероприятия: снижение давления, включение резервных насосов, отключение подачи топлива.

Некоторые защитные мероприятия, особенно в процессах, где авария может привести к тяжелым последствиям, предусматривают полную остановку оборудования, например посредством сброса воды из емкостей. Поскольку последующие пуск и наладка инженерной системы - задача сложная, то необходимо исключить ложное срабатывание устройств автоматической защиты. Это достигается установкой двух отдельных устройств защиты, реагирующих на один и тот же признак опасности. Устройства защиты соединены так, чтобы исполнительный механизм защитного устройства включался только при их одновременном срабатывании.

Примером повсеместно применяемой системы автоматической защиты может служить схема управления электродвигателем (рисунок Ш.4.1).

Схема работает следующим образом. При включении пусковой кнопки SB1 замыкается цепь питания обмотки магнитного пускателя КМ. Своими силовыми контактами КМ2 магнитный пускатель включает электродвигатель, а блок-контакт КМ1 шунтирует (параллельно включает) пусковую кнопку. После этого кнопку можно отпустить, а цепь питания обмотки магнитного пускателя останется замкнутой через его блок-контакт КМ1. Отключают двигатель нажатием кнопки «Стоп» SB2. При этом разрывается цепь питания обмотки пускателя и размыкаются его контакты КМ1 и КМ2. После отпускания кнопки SB2 обмотка магнитного пускателя остается обесточенной. В этой схеме предусмотрено действие защиты в трех возможных аварийных ситуациях: при исчезновении напряжения в сети, при перегрузках и при коротких замыканиях.

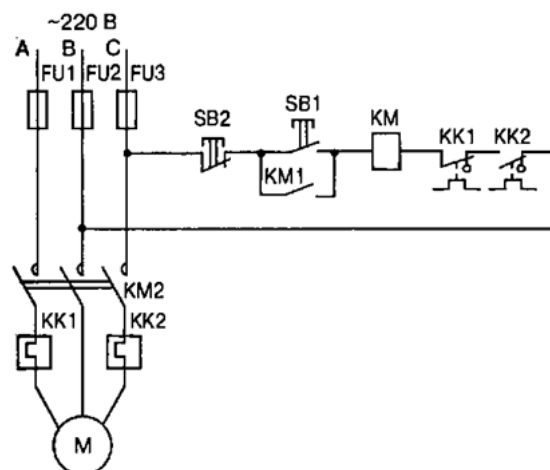


Рисунок Ш.4.1 – Схема управления электродвигателем

При исчезновении напряжения в сети, например при отключении подачи электроэнергии, происходят отключение магнитного пускателя и остановка электродвигателя. Блок-контакт КМ1 обеспечивает защиту электродвигателя от самопроизвольного повторного включения при возобновлении подачи электроэнергии. Повторный пуск двигателя возможен только после нажатия пусковой кнопки SB1. Защита электродвигателя от перегрузок осуществляется тепловыми реле КК1 и КК2, нагревательные элементы которых включены в две фазы питания электродвигателя, а размыкающие контакты - в цепь питания обмотки магнитного пускателя. Для нового пуска электродвигателя, отключенного тепловым реле, необходимо сначала вручную нажать кнопку, замыкающую контакты теплового реле. Защита электродвигателя и цепи магнитного пускателя от коротких замыканий выполняется предохранителями FU1, FU2 и FU3.

Ш.5 Энергосберегающее регулирование производительности насосов

В структуре себестоимости промышленной продукции затраты на потребляемые энергоресурсы составляют значительную часть. Поэтому эффективное развитие экономики невозможно без энергосбережения.

Уменьшить расход электроэнергии в насосных агрегатах возможно посредством регулирования частоты вращения (числа оборотов в минуту) насосов в функции расхода воды. Как известно, частота переменного напряжения f в электрических сетях энергосистем страны постоянна и равна 50 Гц, что достаточно для вращения электродвигателей насосом с номинальной частотой n (об/мин).

Если изменить частоту переменного напряжения, подводимого к электродвигателю насоса, то при $f < 50$ Гц частоту вращения можно определить по формуле

$$n = \frac{n_H \cdot f}{50}, \quad (\text{Ш.5.1})$$

где n , n_n - соответственно частоты вращения при частоте переменного напряжения меньше 50 Гц и частоте $f = 50$ Гц;

f - частота переменного напряжения, подводимого к электродвигателю насоса.

Чтобы изменить частоту переменного напряжения, подводимого к электродвигателю насоса, необходимо подключить электродвигатель к индивидуальному преобразователю частоты, присоединяемому в свою очередь к электрической сети с частотой переменного напряжения $f = 50$ Гц. В зависимости от величины сигнала управления, поступающего от соответствующего датчика на вход преобразователя частоты, частота переменного напряжения на выходе (подводимого к электродвигателю насоса) может изменяться в интервале 5-50 Гц, что обеспечивает возможность десятикратного уменьшения частоты вращения насосного агрегата. Функциональная схема автоматического регулирования частоты вращения насосного агрегата, работающего на сеть водоснабжения, представлена на рисунке Ш.5.1, а для откачивающего насосного агрегата - на рисунке Ш.5.2.

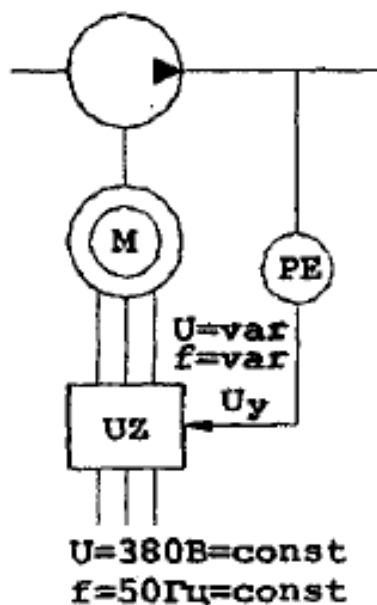


Рисунок Ш.5.1 - Функциональная схема регулирования скорости вращения сетевого насоса

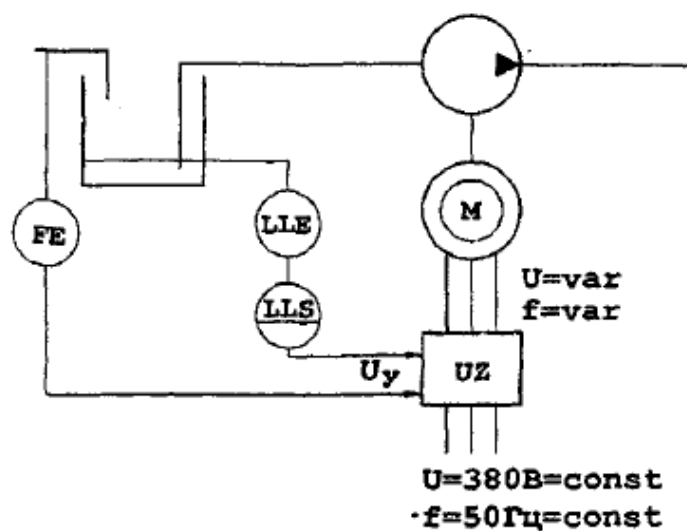
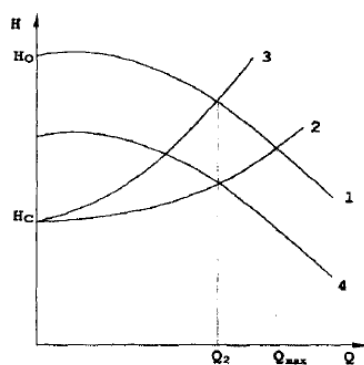


Рисунок Ш.5.2 - Функциональная схема регулирования скорости вращения откачивающего насоса

Водопотребление в сети водоснабжения является случайным, сезонно стационарным процессом. Производительность насосных агрегатов определяется по величине максимального водопотребления Q_{max} (рисунок Ш.5.3).

При уменьшении водопотребления за счет закрытия запорной арматуры у потребителей (чему соответствует увеличение гидравлического сопротивления сети водоснабжения) при неизменной частоте вращения насоса характеристика последнего не изменяется, а характеристика сети принимает вид кривой 3. Несмотря на существенное уменьшение подачи воды насосом в рассматриваемом случае, некоторое увеличение напора насоса и существенное уменьшение кпд насоса в этом режиме обуславливают практическую неизменность мощности, потребляемой электродвигателем насоса при уменьшении подачи воды посредством увеличения гидравлического сопротивления сети.



1 - насоса при номинальной частоте вращения; 2 - сети водоснабжения при номинальном гидравлическом сопротивлении; 3 - сети водоснабжения при увеличении гидравлического сопротивления за счет закрытия запорной арматуры; 4 - насоса при уменьшении частоты вращения

Рисунок Ш.5.1 - Напорно-расходные характеристики насоса и сети водоснабжения

Если при уменьшении водопотребления уменьшать частоту вращения насоса, то характеристика трубопровода (кривая 2 на рисунке С.5.3) остается без изменения, а характеристика насоса смещается почти параллельно характеристике при $n = \text{const}$, принимая вид кривой 4 (рисунок С.5.3). В этом случае существенно уменьшается как подача насоса, так и развиваемый им напор, при пренебрежимо малом уменьшении КПД насоса и его электродвигателя. КПД преобразователя частоты в зависимости от его мощности лежит в пределах 0,92 - 0,96, что обуславливает существенное уменьшение мощности, потребляемой электродвигателем насоса при регулировании его скорости вращения в функции требуемой подачи воды.

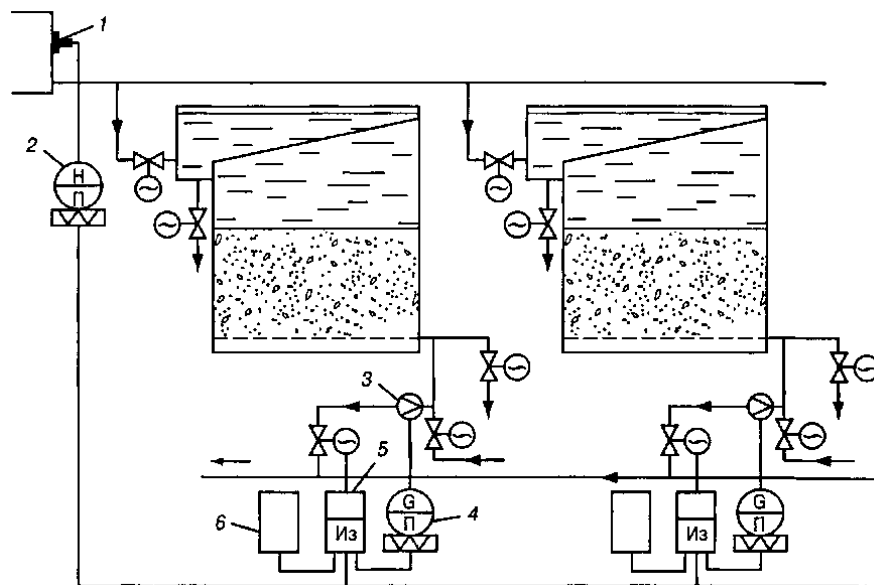
Откачивающие насосные агрегаты подают равное (постоянное) количество воды, автоматически включаясь и отключаясь в зависимости от ее уровня в резервуаре. Производительность насоса определяют максимальным притоком воды в приемный резервуар в течение часа. Если в течение какого-то промежутка времени приток меньше максимального, то посредством преобразователя частоты можно снизить частоту вращения насоса до значения, при котором подача насоса будет равна значению притока. В этом случае характеристика трубопровода не изменится, а характеристика насоса примет вид кривой 4 (рисунок 4.5.3). При автоматическом регулировании подачи насоса в функции значения притока в приемный резервуар, несмотря на непрерывность работы насоса, за счет уменьшения развиваемого им напора потребление электроэнергии электродвигателем насоса уменьшается по сравнению с вариантом периодической работы насоса с неизменной частотой вращения. [68]

Ш.6 Автоматизация процессов фильтрации воды

Схема АСР производительности фильтра с автоматическим задатчиком (рисунок С.6.1) реализует зависимость скорости фильтрования от уровня в открытом подводящем коллекторе. Система применяется только в тех случаях, когда между фильтрами имеется гидравлическая связь. Восстановление фильтрующей способности фильтра связано с рядом операций, производимых в определенной последовательности с заданной продолжительностью: отключение фильтра от общей магистрали (0,5—1 мин); включение промывных насосов (напорного резервуара) и воздуходувок и водовоздушное взрыхление загрузки (3-5 мин); отключение воздуходувок (процесс промывки 5—10 мин); спуск первого фильтрата после промывки (3-5 мин); включение фильтра в рабочий цикл (1-2 мин).

Выполнение перечисленных операций связано с открытием и закрытием пяти-шести задвижек на каждом фильтре, включением и отключением насосов и воздуходувок. При большом числе фильтров выполнение этих операций возможно только при дистанционном или автоматическом управлении. Задача автоматизации фильтров заключается не только в оперативном и надежном управлении переключательными операциями, но и в том, чтобы добиться

максимальной продолжительности фильтроцикла с наименьшими затратами воды.



1 - датчик уровня в резервуаре исходной воды; 2 - дифманометр уровнемера; 3 - сужающее устройство расходомера; 4 - расходомер; 5 - регулятор; 6 — задатчик
Рисунок Ш.6.1 – Схема АСР производительности фильтров по притоку воды на станцию

Ш.7 Автоматизация удаления осадка из отстойника

В отстойниках наиболее важным является автоматизация удаления из них осадка. Простейшее решение этой задачи - выпуск осадка по заданному графику с помощью программного регулятора. Однако точный график откачки составить очень сложно, поэтому чаще всего автоматическое удаление осадка производят путем измерения его уровня в отстойниках. В схеме измерения уровня используется фотоэлектрический датчик, состоящий из двух металлических корпусов, в одном из которых помещается фотосопротивление, а в другом - лампа подсветки. В зависимости от изменения оптической плотности жидкости между фотосопротивлением и лампой подсветки изменяется значение тока, поступающего в схему автоматики.

Для эффективной работы отстойников и предотвращения выноса взвешенных веществ большое значение имеет поддержание одинаковой нагрузки на каждый отстойник или равномерное распределение между ними переменного общего притока сточных вод на станцию. С этой целью предусматривается автоматическое регулирование открытия задвижек на подводящих к каждому отстойнику трубопроводах. Такое регулирование осуществляется с помощью расходомеров или уровнемеров воды.

В общей проблеме повышения эффективности систем водоснабжения и водоотведения автоматизация контроля и оперативного управления этими объектами является исключительно актуальной, поскольку чисто экономическая сторона проблемы в данном случае удачно сочетается с

социально-экологической. Это связано с тем, что автоматизация систем транспортирования, очистки природных, бытовых и производственных сточных вод, а также обработки их осадков позволяет не только существенно снизить количество сбрасываемых в водоемы вредных для окружающей среды веществ, но и утилизировать огромное число безвозвратно теряемых ценных компонентов, которые при их оптимальном извлечении и использовании могут значительно пополнить сырьевые и энергетические ресурсы страны.

Выполняя указания законодательных органов о необходимости дальнейшего усиления охраны водоемов и рационального использования водных ресурсов, директивные органы постановили усилить работы по изучению, проектированию и строительству высокоэффективных водоочистных сооружений и устройств. Возросшие в связи с этим требования к качеству их автоматизации выдвинули на первый план необходимость значительного расширения круга задач, решаемых с позиций системного подхода на базе достижений инженерной кибернетики, вычислительной техники и общей теории систем.

ПРИЛОЖЕНИЕ Щ

Безопасность жизнедеятельности при работе с оборудованием очистной станции

Щ.1 Безопасность жизнедеятельности на производстве

В данной работе разработана технология, и на её основе локальная установка для очистки хромосодержащих сточных вод производительностью 9 м³/сут.

Локальная установка предназначена для очистки хромосодержащих сточных вод, в которых содержатся хром, вредно влияющий на организм человека.

Токсичность шестивалентного хрома проявляется в подавлении роста, в торможении метаболических процессов, в виде генотоксического, эмбриотоксического и тератогенного эффектов. При воздействии на людей выделяют легочную и желудочную формы интоксикации. Отмечаются различные дерматиты, аллергические реакции, раздражение верхних дыхательных путей.

Многочисленными эпидемиологическими исследованиями установлено, что хроматы могут вызывать бронхогенный рак, поэтому хром и его соединения относят к группе высокого канцерогенного риска для человека.

В организме человека и животных общетоксикологическое, нефротоксическое и гепатотоксическое действие оказывает Cr⁶⁺.

Токсичность хрома выражается в изменении иммунологической реакции организма, снижении репаративных процессов в клетках, ингибировании ферментов, поражении печени, нарушении процессов биологического окисления, в частности цикла трикарбоновых кислот. Кроме того, избыток металла вызывает специфические поражения кожи (дерматиты, язвы), изъязвления слизистой оболочки носа, пневмосклероз, гастриты, язву желудка и двенадцатиперстной кишки, хромовый гепатоз, нарушения регуляции сосудистого тонуса и сердечной деятельности.

Соединения Cr⁶⁺, наряду с общетоксикологическим действием, способны вызывать мутагенный и канцерогенный эффекты. Хром, помимо легочной ткани, накапливается в печени, почках, селезенке, костях и костном мозге. [69]

Соединения хрома негативно влияют на систему «мать-плацента-плод», что также важно учитывать при прогнозировании состояния здоровья населения, проживающего в зоне влияния предприятий хром добывающей и хром перерабатывающей промышленности. Это воздействие заключается в поражении мембран, накоплении эндотоксинов, угнетении антиоксидантных свойств. Вследствие этого происходит ухудшение состояния здоровья женщин, развивается фетоплацентарная недостаточность. В основе мембраноповреждающего действия хрома лежит активация процессов перекисного окисления липидов. При этом плацента задерживает до 19% хрома, циркулирующего в организме беременных. Нарушения состояния здоровья

женщин в условиях хромовой биогеохимической провинции проявляются гиперплазией щитовидной железы, снижением запасов железа, анемией, нарушением белково-образовательной функции печени, состоянием вторичного иммунодефицита. [70]

Хром, поступая через дыхательные пути и кожу, может накапливаться в печени, почках, эндокринных железах. В отличие от цинка и меди хром очень медленно выводится из организма. При незначительных концентрациях хрома в воздухе возникает раздражение слизистой оболочки верхних дыхательных путей, что вызывает насморк, першение в горле, сухой кашель. При более высоких концентрациях могут появиться кровотечения из носа и даже разрушение носовой перегородки. Наряду со специфическим действием на слизистые оболочки соединения хрома обладают общетоксическим действием, поражая желудочно-кишечный тракт. Хронические отравления хромом сопровождаются головными болями, исхуданием, поражением почек. Организм приобретает большую склонность к воспалительным и язвенным изменениям ЖКТ и катаральному воспалению легких.

Реагенты, применяемые для очистки сточных вод, также могут оказать вредное воздействие на организм человека:

- Серная кислота (H_2SO_4) чрезвычайно агрессивна, и воздействие паров серной кислоты является серьезной опасностью для здоровья. Особую опасность для живых существ представляет собой высокая реакционная способность с водой, при такой реакции производится большое количество тепла в дополнение к коррозионной способности, при которой кислота может просто сжечь плоть и кости. Следовательно, ущерб от коррозионного воздействия усугубляется дополнительными повреждениями от высокой температуры и последующим обезвоживанием поврежденных тканей. При вдыхании пары серной кислоты могут вызвать серьезные химические ожоги на внутренней части рта, носа и дыхательных путей, что приводит к боли и затрудненному дыханию. Они также могут вызывать накопление жидкости, отеки, в легких, бронхах, гортани, химический пневмонит, или воспаление легких, и легкие спазмы. Эти симптомы могут быть смертельными, если они ухудшают дыхание достаточно, чтобы вызвать дыхательную недостаточность. Даже не вдыхая пары серной кислоты опасны. Контакт с кожей может вызвать болезненные вздутия, ожоги и некрозы. Вступления в контакт с глазами может вызвать раздражение, жжение или затуманенное зрение, иногда это может привести к необратимому повреждению зрения;

- Гидроксид кальция (гашеная известь - $Ca(OH)_2$) в виде пыли или капель раздражает слизистые, вызывая чихание и кашель. На слизистой рта и носа наблюдаются поверхностные изъязвления, иногда прободение носовой перегородки. Может возникать даже воспаление легких. При воздействии на кожу гашеная известь вызывает болевые и довольно глубокие язвы с гладким дном (так называемые «птичьи очки»), а при хронических поражениях — сухость и жесткость ее, трещины, шелушение. Ногти становятся ломкими, истончаются, и

на них возникают продольные трещины, между пальцами — сильное раздражение, вокруг суставов корки.

Щ.2 Инструкция по охране труда для коррективщика по приготовлению реагентов

Общие требования безопасности:

1) К работам по обезвреживанию хромсодержащих сточных вод допускаются лица, достигшие восемнадцатилетнего возраста, прошедшие медосмотр, не имеющие противопоказаний к выполнению работ с реагентами и сточными водами, обученные и прошедшие инструктаж по технике безопасности труда с подъемными механизмами.

2) Коррективщик станции нейтрализации отвечает за технически правильную эксплуатацию установок, исправность оборудования, за безопасное приготовление и правильное расходование реагентов, за своевременную доставку реагентов на станцию нейтрализации.

3) Не допускать посторонних лиц, а также лиц, находящихся в нетрезвом состоянии, в помещение реагентного хозяйства и к работающему оборудованию.

4) Работу с серной кислотой проводить в спецодежде, защитных очках, перчатках (типовые нормы № 163д, п. 9 от 19.05.72 г.).

5) При переливе серной кислоты следует помнить, что всегда льют кислоту в воду, а не наоборот, во избежание разбрызгивания.

6) Не принимать пищу и не курить в рабочем помещении. Курить разрешается лишь в местах, специально отведенных для курения. Категорически запрещается распитие спиртных напитков.

7) Не разрешается на рабочих местах хранить горючие материалы, промасленную ветошь, смазочные материалы. Иметь в рабочем помещении огнетушитель марки ОХВП-10.

8) Коррективщик обязан уметь оказать первую медицинскую помощь при несчастных случаях, при необходимости воспользоваться телефонами:

- медпункта завода;
- пожарная охрана;
- отдел техники безопасности.

9) В случае травмы или заболевания работу прекратить, известить администрацию и обратиться в медпункт.

10) При неисправности оборудования, насосов, запорной арматуры доложить об этом мастеру или начальнику станции нейтрализации.

11) Лица, нарушившие требования данной инструкции, привлекаются к ответственности в дисциплинарном порядке.

Щ.2.1 Требования техники безопасности перед началом работы

Необходимо:

1) Надеть спецодежду в соответствии с характером предстоящей работы, подготовить средства индивидуальной защиты.

2) Ознакомиться по сменному журналу с работой очистных сооружений, с заданием по смене, при наличии распоряжения – расписаться под ним.

3) Вместе с коррективщиком, сдающим смену, проверить состоянии оборудования, работу вентиляции, наличие химических реагентов, сделать соответствующую запись в журнале приема и сдачи смен.

4) Проверить, все ли баки с реагентными растворами закрыты крышками.

5) Проверить по описи сохранность сдаваемых инструментов, приборов, спецодежды.

6) Расписаться в журнале приема и сдачи смен. В случае обнаружения неисправности оборудования и других недостатков доложить мастеру.

Щ.2.2 Требования безопасности во время работы

1) Приготовление реагентных растворов и работа с ними должна вестись в спецодежде, защитных очках, резиновых сапогах, перчатках.

2) Не разрешается производить работу на неисправном оборудовании.

3) Работающее оборудование не разрешается оставлять без присмотра.

4) Производить набивку сальников и замену пальцев при выключенном оборудовании.

5) Во избежание получения ожогов все работы с серной кислотой производить в спецодежде и в защитных очках.

6) Строго соблюдать технику безопасности при использовании погрузочно-разгрузочных средств и иметь на это соответствующее удостоверение.

7) При перекачке растворов на очистные сооружения строго следить за уровнем поступающего реагента и не допускать перелива концентрированного раствора через край.

8) Коррективщик обязан строго соблюдать правила техники безопасности, содержать рабочее место в чистоте.

Щ.2.3 Требования безопасности в аварийных ситуациях

1) В случае пожара серную кислоту тушить песком или золой. Водой пользоваться запрещено.

2) При попадании кислоты на незащищенные участки кожи смыть ее сильной струей воды и обратиться в медпункт.

3) При попадании кислоты в полость рта произвести полоскание 5%-ным раствором соды.

4) В помещении реагентного хозяйства должна быть медицинская аптечка следующего содержания:

- йод, 5%-ный спиртовой раствор;
- бинт, вата;

- нашатырный спирт;
- вазелин;
- жгут резиновый;
- 2%-ный раствор борной кислоты;
- 5%-ный раствор пищевой соды.

5) В случае перелива концентрированных растворов реагентов уборку произвести в противогазе.

Щ.2.4 Требования безопасности по окончании работы

1) Подготовить к сдаче следующей смене обслуживаемые участки и помещения.

2) Произвести необходимые записи в журнале о работе участка, о расходе реагентов. О замеченных недостатках сообщить мастеру или начальнику станции нейтрализации.

3) После окончания работы принять душ, смазать руки защитным кремом.

4) Ознакомить сменщика со всеми распоряжениями мастера, расписаться в журнале сдачи смены.

5) В случае неявки сменщика доложить об этом мастеру или начальнику станции нейтрализации и не покидать рабочее место до указаний начальника.

Щ.3 Техника безопасности при работе с электрооборудованием очистной установки

Эксплуатация основного и вспомогательного промышленного оборудования связана с применением опасной для человека электрической энергии. Электрический ток, проходя через организм человека, оказывает термическое, электролитическое и биологическое действие, вызывая местные и общие электротравмы (электрические удары).

Термическое действие выражается в ожогах отдельных участков тела, нагреве кровеносных сосудов, нервов и других тканей.

Электролитическое действие выражается в разложении крови и других органических жидкостей, что вызывает значительные нарушения их физиохимических составов.

Биологическое действие выражается в раздражении и возбуждении живых тканей организма, что сопровождается произвольными судорожными сокращениями мышц, а также нарушением внутренних биоэлектрических процессов организма.

Местные травмы подразделяются следующим образом: электрические ожоги, электрические знаки (пятна), металлизация кожи (от электрической дуги), механические повреждения (от произвольных судорожных сокращений мышц), электроофтальмия (воспаление наружных оболочек глаз от электрической дуги).

Общие электрические травмы или электрические удары по тяжести делятся на четыре степени:

I степень характеризуется судорожным сокращением мышц без потери сознания;

II степень — сокращением мышц с потерей сознания, но при сохранившихся дыхании и работе сердца;

III степень — потерей сознания и нарушением сердечной деятельности или дыхания (или того и другого сразу);

IV степень — клинической («мнимой») смертью, т.е. отсутствием дыхания и кровообращения (обычно 4...5 мин, иногда 7...8 мин).

Биологическая (истинная) смерть - необратимое явление, характеризующееся прекращением биологических процессов в клетках и тканях организма и распадом белковых структур - наступает по истечении периода клинической смерти.

Основными причинами воздействия тока на человека являются: случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям; появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции или ошибочных действий персонала; шаговое напряжение на поверхности земли в результате замыкания провода на землю; появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного включения установки.[71]

К особо опасным помещениям относятся многие производственные помещения, в том числе и цехи машиностроительных заводов, испытательные станции, гальванические цехи, мастерские. К таким помещениям относятся и участки работ на земле или под навесом.

Помещения особо опасные характеризуются наличием одного из следующих трех условий, создающих особую опасность: особой сырости, когда относительная влажность воздуха близка к 100 %, а стены, пол, предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой (особо сырые помещения); химически активной или органической среды, т.е. помещения, в которых постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образующие отложения или плесень, которые имеют разрушительное воздействие на изоляцию и токоведущие части электрооборудования (помещения с химически активной или органической средой); одновременного наличия двух и более условий, свойственных помещениям с повышенной опасностью.

Поражение электрическим током возможно при нарушении изоляции токопроводящих проводов и обмоток электродвигателей, а также нарушения их заземления. В качестве заземляющих устройств электроустановок в первую очередь используются естественные заземлители (железобетонные фундаменты промышленных зданий и сооружений). Допускается применение переносных заземлителей, например, ввинчиваемых в землю стальных труб, стержней.

Для защиты от поражения электрическим током применяют основные изолирующие электрозащитные средства (диэлектрические резиновые перчатки, инструмент с изолирующими рукоятками и указатели напряжения), а также дополнительные изолирующие электрозащитные средства (диэлектрические коврики, галоши, подставки). Применяются также сигнализирующие средства (включают запрещающие и предупреждающие знаки безопасности), а также плакаты (запрещающие, предостерегающие, разрешающие и т.д.). Чаще всего используется предупреждающий знак «Проход запрещен».

Щ.4 Организационные меры защиты

1) Инструктаж

Цель инструктажа – сообщение работникам знаний, необходимых для правильного и безопасного выполнения ими своих профессиональных обязанностей, а также формирование у работников убеждения в объективной и абсолютной необходимости выполнения правил и норм безопасной жизнедеятельности в производственной среде. Различают следующие его виды:

- вводный инструктаж
- первичный инструктаж
- периодический (повторный).

2) Техника безопасности

Техника безопасности – это система технических средств и приёмов работы, обеспечивающих безопасность условий труда. Это одно из важнейших мероприятий в области охраны труда. Техника электробезопасности включает в себя совокупность технических средств, правил и инструкций, которые должны предупредить или уменьшить вредное воздействие электрического тока на организм человека.

3) Правильная организация рабочего места

Рабочее место – это зона приложения труда определённого работника или группы работников (бригады). Организация рабочего места заключается в выполнении ряда мероприятий, которые обеспечивают рациональный и безопасный трудовой процесс и эффективное использование орудий и предметов труда, что повышает производительность и способствует снижению утомляемости работающих. Так, например, правильно выбранная рабочая поза (с возможностью её перемены) исключает или сводит к минимуму вредное влияние выполняемой работы на организм человека.

4) Режим труда и отдыха

Оптимальный режим труда и отдыха – это такое чередование периодов работы с периодами отдыха, при котором достигается наибольшая эффективность деятельности человека и хорошее состояние его здоровья. Он оказывает благотворное влияние на функциональное состояние человека. Оптимальный режим труда и отдыха достигается:

- паузами в работе и перерывами;

- сменой форм работы и условий окружающей среды;
- поддержанием определённого темпа и ритма работы;
- устранением монотонности и малоподвижности;
- снятием нервно-психических нагрузок отдыхом в комнатах для отдыха персонала;

- использованием психологического воздействия цвета, музыки и средств технической эстетики.

5) Применение средств индивидуальной защиты

Средства индивидуальной защиты предназначены для защиты тела, органов дыхания, зрения, слуха, головы, лица и рук от травм и воздействия неблагоприятных производственных факторов. Электрозащитные средства предназначены для защиты людей от поражения.

6) Изолирование и ограждение токоведущих частей электрооборудования

Прикосновение к токоведущим частям всегда может быть опасным, даже в сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и малой ёмкостью. Нередко опасно даже приближение к токоведущим частям. Чтобы исключить возможность прикосновения или опасного приближения к неизолированным токоведущим частям, должна быть обеспечена недоступность последних посредством ограждения или расположения токоведущих частей на недоступной высоте или в недоступном месте.

7) Применение блокировок

Блокировки используются для обеспечения недоступности неизолированных токоведущих частей. Они применяются в электроустановках, в которых часто производятся работы на ограждаемых токоведущих частях (испытательные стенды, установки для испытания изоляции повышенным напряжением и т.п.). Блокировки устанавливаются также в электрических аппаратах – рубильниках, пускателях, автоматических выключателях и других устройствах, работающих в условиях с повышенными требованиями безопасности.

Блокировки применяются также и для предупреждения ошибочных действий персонала при переключениях в распределительных устройствах и на подстанциях.

8) Переносные заземлители

Это временные заземлители, которые предназначены для защиты от поражения током персонала, производящего работы на отключённых токоведущих частях электроустановки, при случайном появлении напряжения на этих частях (например, дополнительно заземляющий проводник, металлическая цепь, касающаяся земли, и т.д.).

9) Защитная изоляция

Выделяют следующие виды изоляции:

рабочая – электрическая изоляция токоведущих частей электроустановки, обеспечивающая её нормальную работу и защиту от поражения электрическим током;

дополнительная – электрическая изоляция, предусмотренная дополнительно к рабочей изоляции для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения рабочей изоляции;

двойная – электрическая изоляция, состоящая из рабочей и дополнительной изоляции.

10) Изолирование рабочего места

Под изолированием рабочего места понимается комплекс мероприятий по предотвращению возникновения цепи тока человек-земля и увеличению значения переходного сопротивления в этой цепи. Данная мера защиты применяется в случаях повышенной опасности поражения электрическим током и обычно в комбинации с разделительным трансформатором.

Щ.5 Технические меры защиты

Технические меры защиты разделяются на две группы. К первой относятся малые напряжения, разделение сетей, контроль изоляции, компенсацию ёмкостного тока утечки, защитное заземление, двойную изоляцию. Эти меры обеспечивают защиту человека от поражения током путём снижения напряжения прикосновения или уменьшения тока через его тело при однофазном прикосновении; ко второй – зануление и защитное отключение, защищающее человека при попадании его под напряжение путём быстрого отключения электрического тока.